

Aula 03 - Profº Juliano

*PETROBRAS (Engenharia de
Equipamento - Mecânica)
Conhecimentos Específicos - 2021
(Pós-Edital)*

Autor:
Felipe Canella, Juliano de Pelegrin

30 de Dezembro de 2021

1. Sumário

Mecânica dos Fluidos	4
1 – Introdução e conceitos fundamentais	4
1.1 – Conservação da massa em um volume de controle.....	5
1.2 – Classificação de escoamentos de fluidos	7
2 – Estática dos fluidos	11
2.1 – Pressão	11
2.2 – Lei de Pascal.....	15
2.3 – Força Hidrostática em superfícies submersas.....	16
3 – Equações básicas para um volume de controle	18
3.1 – Equação da quantidade de movimento para um volume de controle inercial	18
4 – Análise dos movimentos dos fluidos.....	19
4.1 - Movimento de translação de uma partícula fluida	19
4.2 – Outros tipos de movimento de uma partícula de um fluido	22
5 – Equação de Bernoulli	23
5.1 – Pressões estática, de Estagnação e Dinâmica	24
6 – Escoamento em Tubos	28
6.1 – Escoamento laminar e turbulento	29
6.2 – Região de entrada	30
6.3 – Queda de pressão e perda de carga	32
6.4 – Medidores de vazão para escoamento interno.....	35
7 - Análise Dimensional e Semelhança.....	38
7.1 - Análise dimensional	38
7.2 - Análise por semelhança.....	44



7.3 - Números Adimensionais	46
Considerações Finais.....	50
Questões Comentadas	51
Mecânica dos Fluidos	51
Outras Bancas	65
Lista de Questões.....	89
Mecânica dos Fluidos	89
Outras Bancas	96
Gabarito.....	109



MECÂNICA DOS FLUIDOS

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Caro(a) estrategista, na aula de hoje vamos estudar a mecânica dos fluidos.

O **tema desta aula apresenta grande incidência em questões de provas**, ou seja, é muito importante que você dê uma atenção especial a esta aula. Muito provavelmente ela estará presente em seu edital.

Devido a extensão desta disciplina, vamos abordar os assuntos desta aula de modo a proporcionar uma leitura de fácil compreensão e assimilação.

Os tópicos necessários e mais importantes serão aprofundados por meio de esquemas, figuras e resumos. Tudo isto será feito para que você possa extrair o máximo de conteúdo para a hora de sua prova.

Como de costume, antes de começarmos nossa aula, reforço que ela é escrita baseada em fontes consagradas da engenharia mecânica, portanto haverá figuras e citações retiradas de bibliografias. Isto é realizado com o objetivo de tornar o material o mais didático e claro possível.

Sem mais, lembre-se de **acessar e curtir minhas redes sociais**. Lá você poderá encontrar dicas, conteúdos e informações a respeito de seu concurso! Vamos lá?!

Instagram - @profjulianodp

e-mail – profjulianodp@gmail.com



MECÂNICA DOS FLUIDOS

Caro(a) estrategista, vamos iniciar o estudo da mecânica dos fluídos com uma introdução e a definição de diversos **conceitos fundamentais** importantes para que possamos desenvolver os demais conteúdos conforme estes são cobrados em prova. Bora lá?!

1 – Introdução e conceitos fundamentais

A mecânica dos fluídos é uma das disciplinas que mais amedronta e gera dificuldades durante a graduação, pois em grande parte das questões de prova não exige somente aplicação de números em equações, mas sim uma avaliação do problema bem como aplicação de leis físicas de uma maneira coerente. Desta forma, além de exigir conhecimento, exigem intuição física e experiência na resolução de questões por você, caro estrategista.

Como você já deve ter estudado a parte da mecânica que trata dos corpos em repouso é denominada estática e, aprendemos que a parte da mecânica que estuda os corpos em movimento é denominada dinâmica.

A **mecânica dos fluídos** é uma subcategoria da mecânica e segundo Cengel, pode ser definida como **ciência que trata do comportamento dos fluidos em repouso (estática dos fluidos) ou em movimento (dinâmica dos fluidos) e da interação entre fluidos e sólidos e outros fluidos nas fronteiras.**

Mas professor, o que é um fluido? Basicamente qualquer substância que esteja no **estado líquido ou gasoso** é denominada de **fluido**. Em termos técnicos, a diferença entre um sólido e um fluido, consiste na resistência apresentada pela substância a uma tensão de cisalhamento aplicada. O sólido resiste a tensão deformando-se enquanto um fluido sofre deformação continuamente independentemente da intensidade da força a qual está sendo submetido.

Em outras palavras podemos dizer que **os fluídos tendem a escoar quando interagimos com eles** e os sólidos possuem a tendência de ser deformar ou dobrar quando é realizada interações com este.

Caro estrategista, dando sequência a nossa introdução, cabe destacar que para a análise de quaisquer questões que envolvam a mecânica dos fluidos torna-se necessário o estabelecimento e o **conhecimento de algumas leis básicas** que são aplicáveis a todos os fluidos que são:

- a) Conservação da Massa;
- b) A segunda lei de Newton (movimento);
- c) O princípio da quantidade de movimento angular;
- d) 1ª e 2ª lei da termodinâmica.

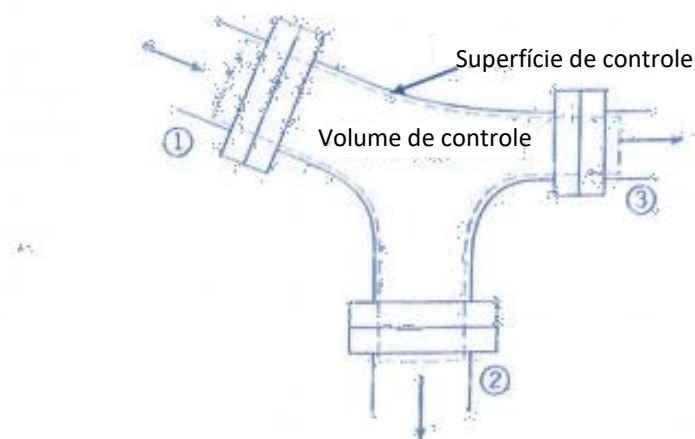
Isso não quer dizer que em qualquer das questões que você se deparar será necessária a utilização de conceitos inerentes a todas as leis apresentadas, mas em alguns casos algumas relações entre estas leis serão estabelecidas e necessárias para uma correta resolução.



1.1 - Conservação da massa em um volume de controle

Prezado aluno(a), na mecânica dos fluidos estamos interessados em avaliar escoamentos através de tubulações, bocais, compressores... Neste caso, a melhor maneira para realizar a análise dos fenômenos que acontecem se dá através do enfoque do **volume de controle**.

Como visto em nossa aula sobre termodinâmica temos que o volume de controle é um volume casual de onde o fluido escoa. Vejamos a figura abaixo onde temos um exemplo de volume de controle com partes reais e imaginárias demonstrando o escoamento em uma junção de tubos.



Note que alguns trechos limites da nossa superfície de controle são reais delimitadas pelas paredes dos tubos e algumas são imaginárias (entradas e saídas).

Além disso, aplicando o **princípio da conservação da massa** na junção ilustrada acima temos que a **vazão mássica na entrada é igual a vazão mássica na saída**, ou seja, $\dot{m}_e = \dot{m}_s$ e, a vazão mássica pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A = \frac{V \cdot A}{v}$$

Onde V é a velocidade, A é a área, v o volume específico e ρ a massa específica do fluido.

Podemos também definir a **vazão volumétrica** (Q_V) como sendo a razão entre o volume e o tempo ou o produto entre a velocidade de escoamento e a área e, esta grandeza representa a **rapidez com o qual o volume escoa** podendo ser calculada pela seguinte expressão:

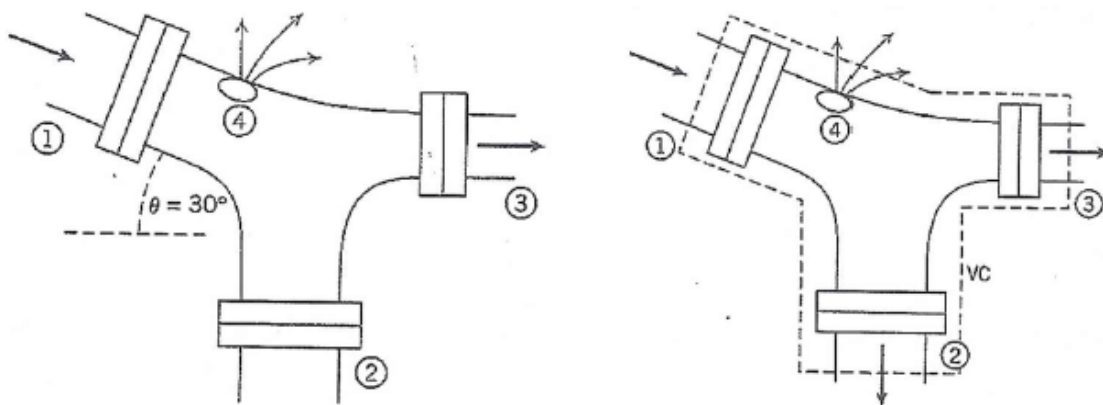
$$Q_V = \frac{V \text{ (Volume)}}{t \text{ (tempo)}} = V \text{ (velocidade)} \cdot A \text{ (área)}$$



(FUMARC/CEMIG-2018) Considere o escoamento permanente de água em uma junção de tubos, conforme mostrado no diagrama.

As áreas das seções são: $A_1 = 0,2\text{m}^2$; $A_2 = 0,2\text{m}^2$ e $A_3 = 0,15\text{m}^2$. O fluido também vaza para fora do tubo através de um orifício em 4 com uma vazão volumétrica estimada em $0,1\text{m}^3/\text{s}$. As velocidades médias nas seções 1 e 3 são, respectivamente, $V_1 = 5\text{m/s}$ e $V_3 = 12\text{m/s}$.

Determine a velocidade do escoamento na seção 2.



- a) - 1,5m/s
- b) - 4,5m/s
- c) - 6,5m/s
- d) - 8,5m/s

Comentário:

A alternativa B está CORRETA e é o gabarito da questão.

Para a resolução desta questão temos que aplicar a lei da conservação da massa em volume de controle. Sabendo-se que vazão mássica é dada por $\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A$ e considerando a água como um fluido incompressível em que a massa específica na entrada será igual a massa específica na saída podemos equacionar o sistema da seguinte maneira:

$$\dot{m}_e = \dot{m}_s \Rightarrow V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 + V_3 \cdot A_3 + V_4 \cdot A_4$$

Note que no enunciado da questão é dada a vazão volumétrica no orifício em 4, lembre-se que $Q_v = V \cdot A$. Sendo assim, nos resta apenas substituímos os valores nas equações. Vejamos:

$$5 \cdot 0,2 = V_2 \cdot 0,2 + 12 \cdot 0,15 + 0,1 \Rightarrow V_2 = \frac{-0,9}{0,2} = -4,5 \text{ m/s}$$

O fato de a velocidade ser negativa quer dizer que o vetor de velocidade apontando para fora do volume de controle indicado na questão está equivocado. Na verdade, nesta seção temos uma entrada de escoamento.

Outro caso, onde o princípio de conservação da massa atua, é no ato de enchimento de um reservatório de água. Para um volume de controle, o princípio de conservação da massa indica a transferência de massa para o interior ou para o exterior do volume de controle durante um determinado intervalo de tempo Δt . Esta transferência de massa é igual à variação total da massa total, que pode aumentar, diminuir ou permanecer estável, dentro do volume de controle durante Δt .





Quando estamos tratando de processos com escoamento em regime permanente para um sistema que possui diversas entradas e saídas temos que o **escoamento em regime permanente** será expresso por:

$$\sum_e \dot{m} = \sum_s \dot{m}$$

Esta equação nos traz que a vazão total de massa que entra em um volume de controle é idêntica à vazão total de massa que sai dele.

Para **escoamentos incompressíveis** podemos simplificar ainda mais as relações de conservação da massa, pois podemos cancelar a densidade em ambos os lados da equação. Assim teremos que:

$$\sum_e \dot{V} = \sum_s \dot{V} \quad \text{em que} \quad \dot{V} = V \cdot A$$

Apesar $\dot{V}$ nos indicar a vazão volumétrica não existe um princípio de “conservação de volume”.

Vamos agora ao estudo da classificação de escoamento dos fluidos.

1.2– Classificação de escoamentos de fluidos

Prezado concurseiro(a), com certeza você já deve ter ouvido falar da viscosidade de um fluido. Esta é uma medida da aderência interna do fluido e é causada por forças coesivas que atuam entre as moléculas de um líquido e por colisões moleculares que ocorrem nos gases.

Nesta linha de raciocínio, temos que os escoamentos em que os efeitos causados pelo atrito possuem grau significativo são denominados **escoamentos viscosos**. Em contrapartida em grande parte dos escoamentos, onde busca-se uma análise simplificada, os termos viscosos são desprezados caracterizando, portanto, um **escoamento não viscoso ou invíscido**. Normalmente as regiões de escoamento não viscoso são aquelas afastadas de superfícies sólidas.

Uma maneira de se estimar se as forças viscosas podem ou não serem desprezadas comparadas com a força de pressão é realizada pelo cálculo do **número de Reynolds**, adimensional, pela seguinte expressão matemática:



$$Re = \rho \frac{V \cdot L}{\mu}$$

Em que ρ é a massa específica do fluido, μ é a viscosidade dinâmica do fluido, V é a velocidade característica do escoamento e L o comprimento típico ou característico do escoamento.



Na mecânica dos fluidos frequentemente devemos relacionar a viscosidade dinâmica de um fluido (μ) com sua viscosidade cinemática (ν). A razão entre μ/ν é dada pela massa específica do fluido (ρ).

Quando o número de Reynolds for um valor elevado, poderemos desprezar os efeitos causados pela viscosidade, caso contrário, deveremos considerar os efeitos viscosos e, caso seja um valor intermediário, nenhuma conclusão poderá ser tirada.

Uma outra classificação de escoamento de um fluido é escoamento interno ou externo. Quando o fluido é forçado a escoar em um canal limitado por superfícies sólidas temos um **escoamento interno**. Um exemplo de escoamento interno é o escoamento da água em um cano.

Uma vez que o fluido escoa sem limitação sobre uma superfície, como uma placa, um arame ou um cano ocorre **escoamento externo**, ou seja, o corpo está imerso num fluido não contido. Um exemplo de escoamento externo é o escoamento do ar sobre uma bola de tênis ou sobre um objeto exposto durante uma ventania.

Agora deixo uma pergunta para você, caro estrategista. **O escoamento da água em um rio ou em uma vala é um escoamento interno ou externo?** Nem um nem outro, neste caso temos uma outra denominação, chamada de **escoamento de canal aberto** em que o ducto onde o líquido escoa está parcialmente cheio com o líquido e possui uma superfície aberta.



Escoamentos internos são restritos pela influência da viscosidade em qualquer parte do campo de escoamento. Já os escoamentos externos, os efeitos viscosos são restringidos pelas camadas-limites próximas das superfícies sólidas e as regiões de esteira jusante dos corpos.

Abaixo temos imagens que representam escoamento externo incompressível sobre uma esfera e sobre um objeto carenado, onde podemos visualizar a camada-limite, esteira e ponto de separação.





No escoamento em torno da esfera temos representados os pontos A, B e C. Nos pontos A e C o ar fica em repouso, sendo chamados de pontos de estagnação e no ponto B a velocidade do ar será alta. Sempre que a velocidade for alta neste escoamento a pressão será baixa e vice-versa. Desta forma, a pressão nos pontos A e C serão altas e iguais e a pressão no ponto B será baixa.

Outra maneira de classificação para escoamentos é em compressível e incompressível e isto depende do nível de variação da densidade do fluido durante o escoamento. Quando não ocorre variação da massa específica do fluido, ou seja, ela permanecer constante em todos os lugares ocorre um **escoamento incompressível**. Como a densidade dos líquidos são basicamente constantes temos que os **escoamentos que envolvam líquidos são incompressíveis**.

Os **gases**, por sua vez, são **altamente compressíveis** então podem apresentar escoamentos compressíveis. Geralmente em casos em que ocorre a análise de escoamentos de gases a altas velocidades expressamos a velocidade do gás em número de Mach (Ma), adimensional, que é definido pela razão entre a velocidade do escoamento (V) e a velocidade do som (c) que possui o valor de 346 m/s no ar à temperatura ambiente em nível do mar.

O escoamento será chamado de sônico para $Ma = 1$, subsônico para $Ma < 1$, supersônico para $Ma > 1$ e hipersônico para $Ma \gg 1$. Devemos conhecer o número de Mach, pois os escoamentos dos gases podem ser considerados incompressíveis, quando desprezada a transferência de calor, desde que a velocidade do escoamento seja pequena em relação a velocidade do som. **Para $Ma < 0,3$** temos uma variação de apenas 5% da massa específica do gás, podendo assim considerarmos o **escoamento incompressível**.



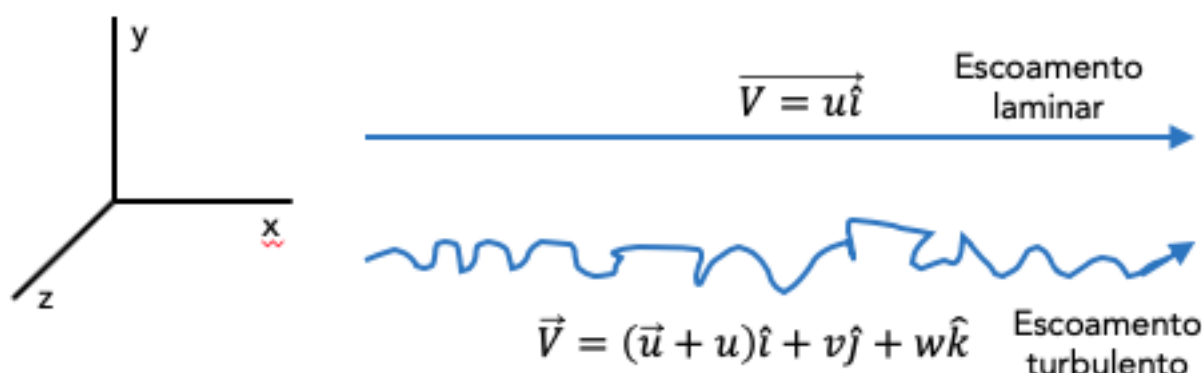
A **cavitação e o golpe de aríete** são fenômenos que ocorrem devido aos efeitos de compressibilidade de escoamento em líquidos. O **golpe de aríete**, também conhecido como martelo hidráulico, é ocasionada pela propagação e reflexão das ondas acústicas de um líquido contido, sendo um exemplo, o fechamento brusco de uma válvula numa tubulação. Esta ação irá gerar um **ruído similar a batida de um martelo num tubo**.

A **cavitação** por sua vez, ocorre quando **bolhas ou bolsas de vapor se criam em um escoamento de um líquido em razão das reduções locais na pressão**. Normalmente esses fenômenos ocorrem no uso de bombas hidráulicas ou turbinas, podendo causar prejuízos devido a danos que podem causar nas pás de bombas e turbinas.



Dando continuidade com a classificação dos tipos de escoamentos temos o **laminar e turbulento**. Pense na ação de abrir uma torneira chegando a uma vazão pequena, a água irá correr de maneira suave, cristalina. Caso aumentarmos a vazão da água ela irá sair de maneira agitada. Esses são exemplos de escoamento laminar e turbulento.

Tecnicamente falando o **escoamento laminar** ocorre de maneira em que as partículas apresentam movimento em camadas lisas, ou lâminas. No **escoamento turbulento** ocorre uma rápida mistura entre as partículas do fluido enquanto estas se movimentam por causa das flutuações aleatórias no campo tridimensional de velocidades. Vejamos a imagem abaixo representando a trajetória de partículas em escoamento linear e turbulento.



Para definirmos se um escoamento é laminar ou turbulento de um fluido incompressível dentro de um tubo, utilizamos o **número de Reynolds para tubos**, adimensional, que é definido por:

$$Re = \rho \frac{\vec{V}D}{\mu}$$

Em que $\vec{V}$ é a velocidade média do escoamento e D o diâmetro interno do tubo. Caso $Re \leq 2300$ o escoamento será laminar, para valores superiores a 2300 o escoamento será classificado como turbulento.

A faixa do número de Reynolds que determina o escoamento de transição sofre grande influência das condições de entrada do duto e do seu comprimento.



(CESGRARIO/TRANSPETRO/2018) Água a 5°C, com viscosidade cinemática de $1,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, escoar a 0,6 m/s, em um tubo com diâmetro de 0,1 m.

Qual velocidade de escoamento, em m/s, precisa ter um óleo a 20°C, com viscosidade cinemática de $1,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, em um tubo com diâmetro 0,5 m, para que os escoamentos possam ser dinamicamente similares?

- a) 0,024
- b) 0,12



- c) 1,6
- d) 3,0
- e) 8,0

Comentário:

A partir do número de Reynolds podemos resolver esta questão. Para que os escoamentos sejam dinamicamente similares o número de Reynolds deve ser igual em ambos os escoamentos (água e óleo). Primeiramente devemos calcular o número de Reynolds para o escoamento de água, convertendo a viscosidade cinemática (ν) para dinâmica (μ). Vejamos:

$$Re = \rho \frac{\vec{V}D}{\mu} \quad ; \quad \rho = \frac{\mu}{\nu} \quad \Rightarrow \quad \mu = \nu \cdot \rho$$
$$Re = \rho \frac{\vec{V}D}{\nu \cdot \rho} = \frac{\vec{V}D}{\nu}$$

Substituindo os valores na equação temos que:

$$Re = \frac{(0,6 \cdot 0,1)}{(1,5 \cdot 10^{-6})} = 40000$$

Conhecido o número de Reynolds dos escoamento de água podemos calcular a velocidade do escoamento de óleo. Vejamos:

$$Re = \frac{\vec{V}D}{\nu} \quad \Rightarrow \quad 40000 = \frac{(V \cdot 0,1)}{(1 \cdot 10^{-4})} \quad \Rightarrow \quad V_{\text{óleo}} = 8 \text{ m/s}$$

Logo, a **alternativa E** está CORRETA e é o gabarito da questão.

Passaremos agora ao estudo da estática dos fluidos.

2 – Estática dos fluidos

2.1 – Pressão

Caro estrategista, a **pressão** é definida como uma **força normal que é gerada por um fluido por unidade de área**. Adotamos o termo pressão quando estamos lidando com um gás ou líquido. Como estudamos na resistência dos materiais, o equivalente da pressão nos corpos sólidos é a tensão normal. A unidade da pressão é o N/m^2 (Newtons por metro quadrado) ou Pa (Pascal).

A pressão em determinada posição, ou real, é denominada **pressão absoluta**, e ela é mensurada em relação ao vácuo absoluto (pressão absoluta zero). Contudo, grande parte dos medidores de pressão são calibrados para ler o zero na atmosfera. Indicando assim, a diferença entre a pressão absoluta e a pressão atmosférica local. Chamamos essa diferença de **pressão manométrica**. Vejamos:

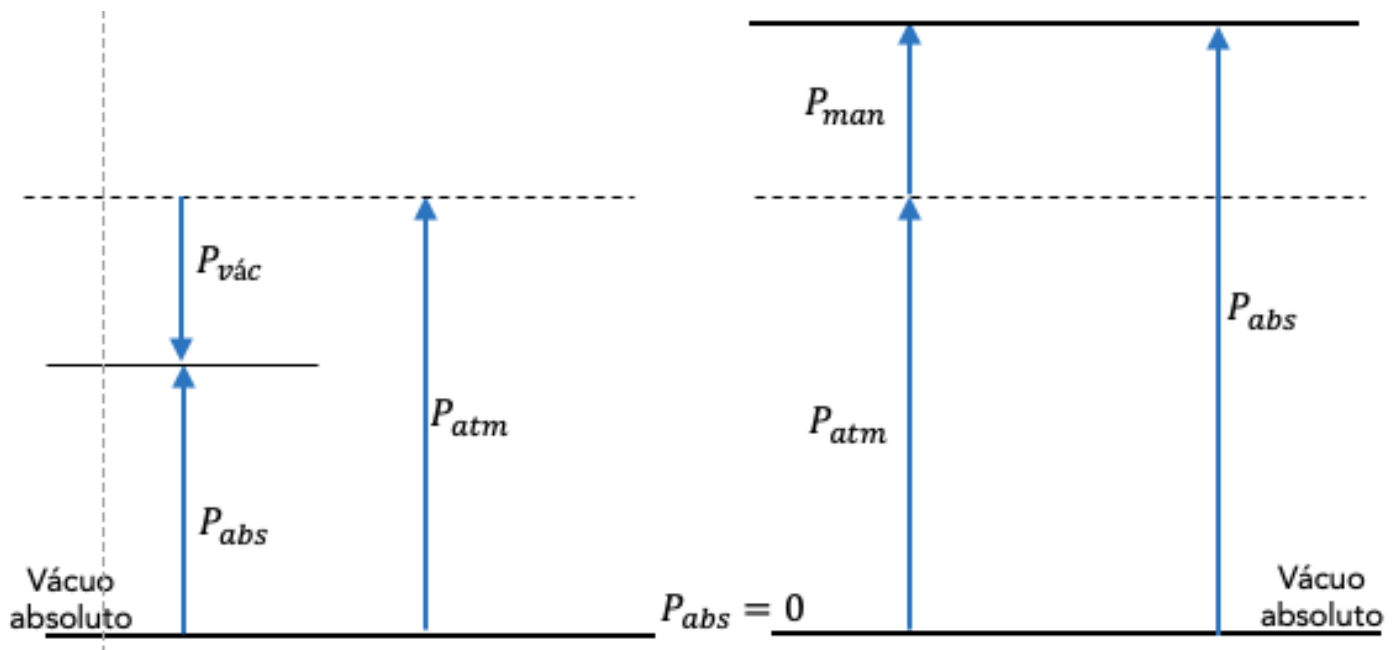
$$P_{man} = P_{abs} - P_{atm}$$

Pressões inferiores a pressão atmosférica são conhecidas como **pressão de vácuo** e são dadas pela diferença entre a pressão atmosférica e a pressão absoluta.

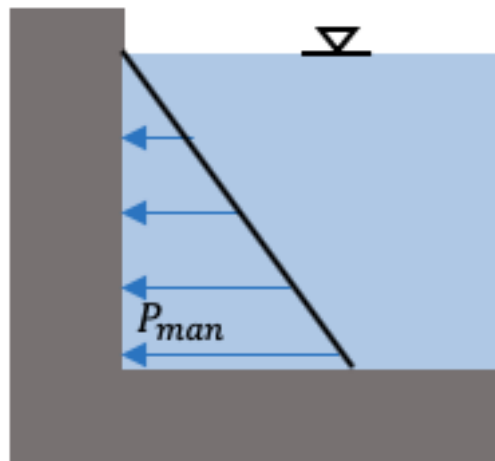


$$P_{vac} = P_{atm} - P_{abs}$$

Vejamos a relação entre as pressões na figura abaixo:



Dando sequência ao nosso estudo da pressão, não deve ser segredo para você, meu caro aluno(a), que a **pressão de um fluido varia em razão da profundidade** na presença de um campo de gravidade. Isso acontece porque uma maior quantidade de fluido se apoia nas camadas inferiores, elevando a pressão. Vejamos a figura abaixo.

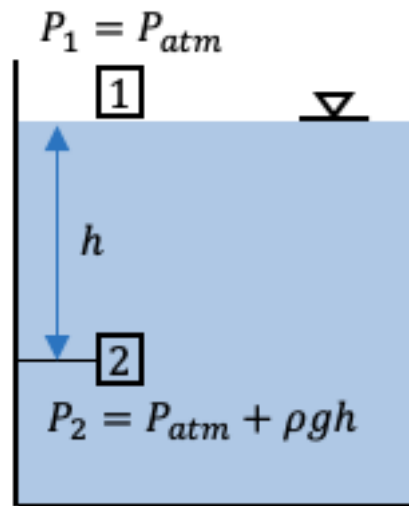


A equação que relaciona a variação da pressão com a profundidade é dada por:

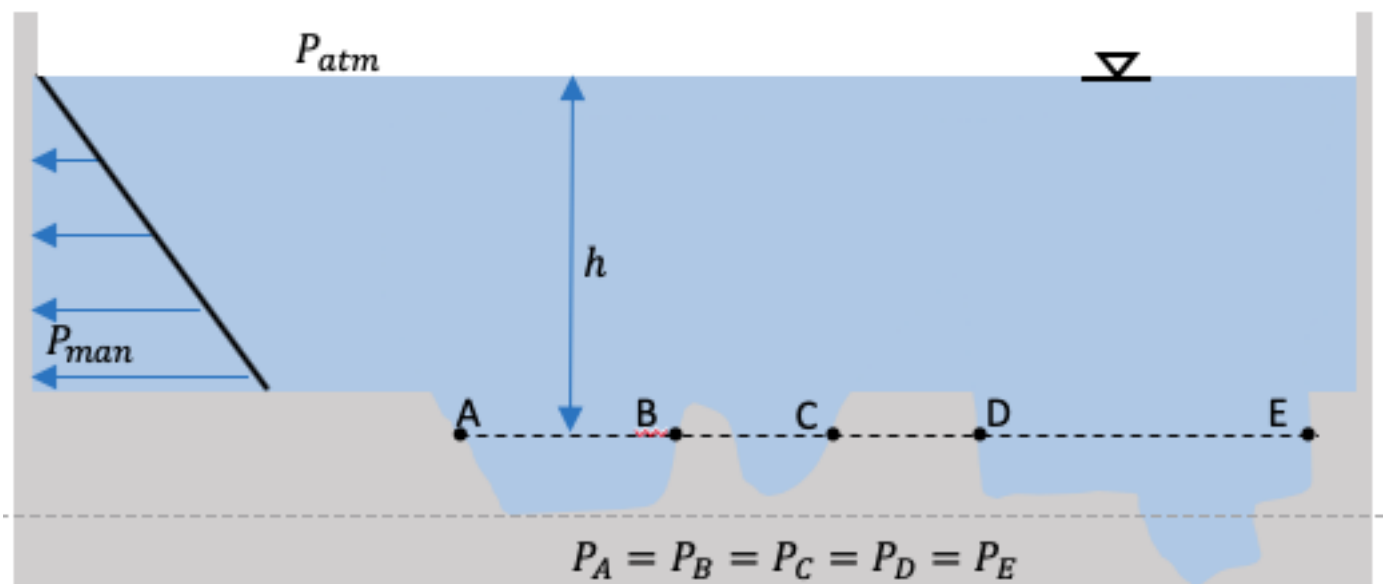
$$\Delta P = P_2 - P_1 = \rho g \Delta z = \gamma \Delta z$$

Em que γ é o peso específico do fluido dado pelo produto entre a massa específica do fluido (ρ) e a aceleração da gravidade (g). Assim podemos perceber que a diferença de pressão entre dois pontos de um fluido com densidade constante é proporcional a distância vertical Δz entre os pontos e a massa específica do fluido, ou seja, a pressão de um fluido aumenta linearmente com a profundidade.





A pressão é a mesma em todos os pontos situados em um plano horizontal em um determinado fluido, independente da geometria, contudo, os pontos necessitam estar interconectados pelo mesmo fluido. Vejamos a imagem abaixo:

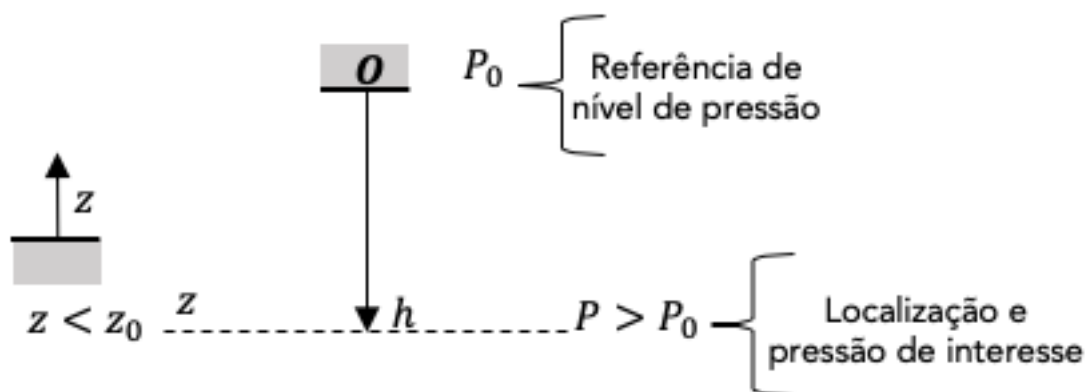


Quando estamos trabalhando com fluidos incompressíveis ($\rho = \text{constante}$) podemos encontrar a diferença de pressão entre dois pontos pela medida da diferença de elevação entre os dois pontos. Os dispositivos utilizados com este propósito são chamados de manômetros. Reescrevendo a equação temos que:

$$P - P_0 = \Delta P = \rho gh$$

Em que h é dado por $z_0 - z$. Habitualmente adotamos a origem do sistema de coordenadas na superfície livre, ou seja, mediremos as distâncias para baixo de nossa referência como positivas.





Comumente, em questões de prova, somos instados a resolver questões que envolvam diferentes tipos de fluidos e nos pedem a **conversão de unidade de pressão**. Conhecendo o peso específico de cada um dos tipos de fluidos e tendo indicado a pressão que pode ser dada em milímetros de coluna do fluido podemos realizar a conversão através da expressão $P = \rho gh$ que nos indica a pressão hidrostática de um fluido.



Caro estrategista, questões com manômetros com múltiplos fluidos são muito comuns na hora de analisá-las você deve seguir algumas regras para lhe ajudar na resolução da questão. Vejamos:

Pontos na mesma elevação dentro de um volume contínuo do mesmo líquido possuem pressões iguais.

A pressão aumenta conforme à medida desce na coluna de líquido.

As alturas h serão positivas para baixo e negativas para cima.

A **diferença de pressão entre dois pontos que estão separados por uma série de fluidos** pode ser determinada pela seguinte expressão:

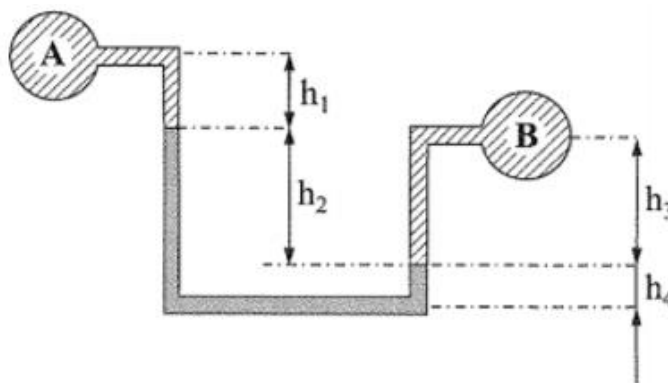
$$\Delta P = g \sum_i \rho_i h_i$$

Em que $\rho_i h_i$ representam as massas específicas e as profundidades dos diversos fluidos.





(CEV UECE/DETRAN-CE/2018) Atente à seguinte figura, que representa um manômetro diferencial, em que o fluido "A" é água, "B" é óleo e o fluido manométrico é mercúrio.



Fonte: Mecânica dos Fluidos / Franco Brunetti - 2 Ed.

Considerando-se $h_1 = 30 \text{ cm}$, $h_2 = 120 \text{ cm}$, $h_3 = 70 \text{ cm}$ e $h_4 = 5,0 \text{ cm}$, e os seguintes dados: $\gamma_{\text{água}} = 10.000 \text{ N/m}^3$; $\gamma_{\text{mercúrio}} = 136.000 \text{ N/m}^3$; e $\gamma_{\text{óleo}} = 8.000 \text{ N/m}^3$, pode-se afirmar corretamente que a diferença de pressão $P_A - P_B$ é

- a) $-160,6 \text{ kPa}$.
- b) $160,6 \text{ kPa}$.
- c) $-167,4 \text{ kPa}$.
- d) $67,4 \text{ kPa}$.

Comentário:

Considerando os fluidos estáticos e incompressíveis e aplicando as equações do ponto B para o ponto A, com a correta utilização do sinal para as respectivas alturas, com os respectivos pesos específicos dados temos que:

$$P_A - P_B = [(\gamma_{\text{óleo}} \cdot h_3) + (\gamma_{\text{Hg}} \cdot -h_2) + (\gamma_{\text{água}} \cdot -h_1)]$$
$$P_A - P_B = [(8000 \cdot 0,7) - (136000 \cdot 1,2) - (10000 \cdot 0,3)] = -160600 \text{ Pa}$$

Logo, a **alternativa A** está CORRETA e é o gabarito da questão.

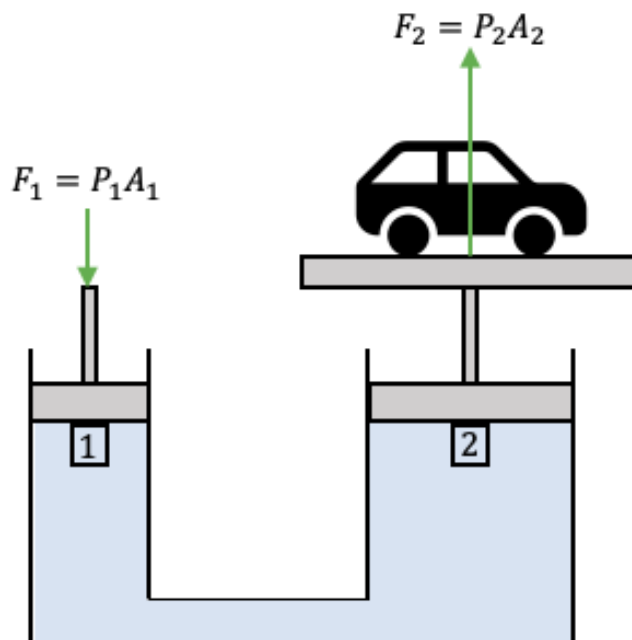
Vamos agora ao estudo da Lei de Pascal.

2.2 – Lei de Pascal

Prezado aluno (a), em questões de concurso envolvendo a mecânica dos fluidos é muito comum aparecerem aquelas que envolvam o **princípio de Pascal**, enunciado por Blaise Pascal, que nos diz que a pressão aplicada em um fluido disposto de dentro de um recipiente aumenta a pressão em todo o fluido com a mesma magnitude. Pascal também notou que a força aplicada a um fluido é proporcional a área de sua superfície.



Nesta linha de raciocínio tornou-se possível a percepção de que dois cilindros hidráulicos com áreas diferentes e conectados entre si e, que uma força aplicada em um dos cilindros gera uma força proporcionalmente a área do outro e vice-versa. Esse é um dos métodos de funcionamento dos elevadores hidráulicos muito utilizados nos dias de hoje. Vejamos a imagem abaixo:



Pelo princípio de Pascal as seguintes relações podem ser estabelecidas:

$$P_1 = P_2 \Rightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1}$$

A **relação entre as áreas** A_2/A_1 é denominada de **ganho mecânico ideal** do elevador hidráulico.

Para analisarmos um deslocamento (d) aplicado em um dos lados do pistão, devemos realizar a análise através da variação de volume (ΔV). Assim temos que:

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 \Rightarrow d_1 A_1 = d_2 A_2$$

Isso nos indica que para um deslocamento d_1 no pistão 1 temos que o deslocamento no pistão 2 será igual a

$$d_2 = d_1 \frac{A_1}{A_2}$$

2.3 – Força Hidrostática em superfícies submersas

Caro estrategista, após entendermos como a pressão atua em um fluido estático, vamos estudar como a força atua em uma superfície submersa em um líquido. Basicamente, para encontrarmos a **força resultante atuante** sobre uma superfície localizada abaixo de um fluido devemos identificar o módulo da força, o seu sentido e a linha de ação da força.



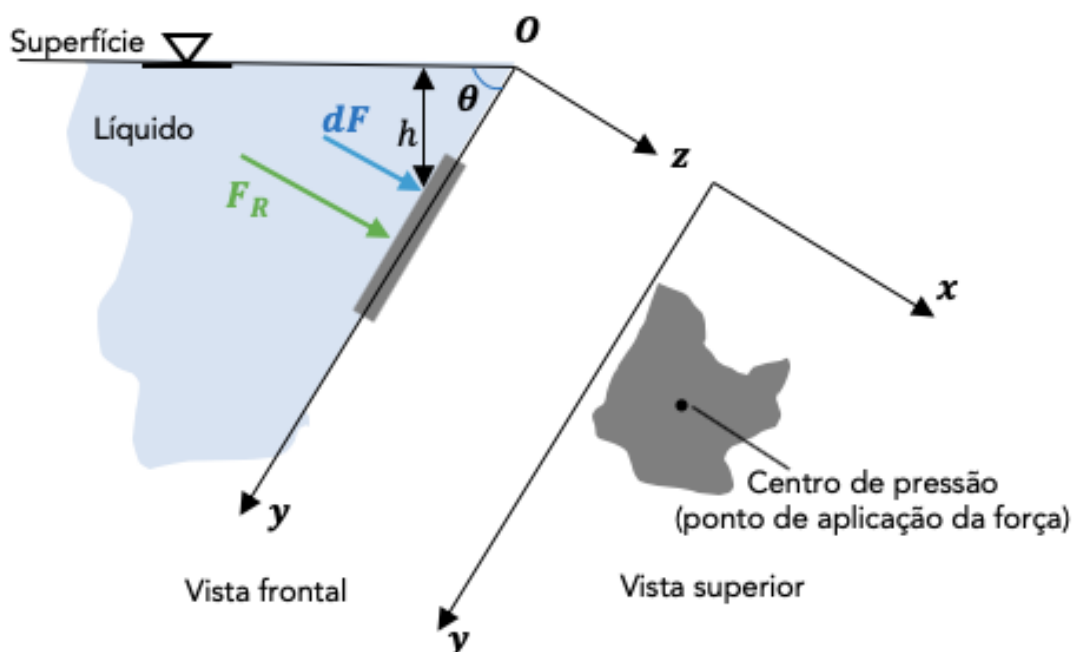
A **força hidrostática** que atua sobre qualquer elemento da superfície submersa age **normal a superfície** e, a força resultante agindo sobre a superfície é encontrada através da soma das forças infinitesimais sobre a área inteira. O seu módulo pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$F_R = \int_A P \cdot dA$$

Onde P é a pressão a uma profundidade h no líquido pode ser expressa por:

$$P = P_0 + \rho gh$$

Em que P_0 é a pressão na superfície livre ($h=0$) normalmente igual a pressão atmosférica. Vejamos a Imagem abaixo:



Através de relações trigonométricas podemos obter a altura h por:

$$h = y \cdot \sin\theta$$

Substituindo os valores na integral acima e adotando y_c como a coordenada y do centroide da área A chegamos na seguinte expressão.

$$F_R = P_c \cdot A$$

Em que P_c é a pressão absoluta no líquido que atua no centroide da área A . Apesar de podermos calcular a força resultante por meio da pressão no centroide da placa, este **não é exatamente o seu ponto de aplicação**.

Chamando os pontos de aplicação da força resultante em y de y' e realizando as devidas deduções chega-se a seguinte expressão para determinação de sua coordenada:



$$y' = y_c + \frac{I_{x'}}{A \cdot y_c}$$

Em que $I_{x'}$ é o momento de inércia da área padrão em torno do eixo x com origem no centroide da área.



Em qualquer situação $y' > y_c$, pois a localização do ponto de aplicação da força será sempre abaixo do centroide uma vez que as pressões são maiores nas regiões mais profundas, fazendo com que a força resultante atue mais para baixo.

Ainda dentro dos estudos das forças exercidas por um fluido sobre um corpo temos o princípio de Arquimedes que nos diz que a **força de flutuação** sobre um corpo imerso em um fluido é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo, essa força age para cima no centroide do volume deslocado. Logo, um fluido exerce uma força para cima em um corpo nele afundado, essa força denominada de flutuação (F_B) ou **força de empuxo** pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$F_B = \rho_f \cdot g \cdot V$$

Em que ρ_f é a massa específica do fluido, g a aceleração da gravidade e V o volume do corpo submerso.

A força de empuxo do fluido é igual ao peso do fluido deslocado

3 – Equações básicas para um volume de controle

Caro estrategista, apesar de ser um conteúdo um tanto quanto complexo que comumente não é exigido em questões de provas vamos estudar uma formulação matemática oriunda da segunda lei de Newton para ser utilizada em um volume de controle inercial

3.1 – Equação da quantidade de movimento para um volume de controle inercial

Neste caso, a partir dos princípios de conservação da massa e considerando que as coordenadas do volume de controle xyz estão estáticas (em repouso) ou com um movimento a velocidade constante em relação a um conjunto de coordenadas absolutas XYZ, podemos descrever a **força resultante do sistema** através da **soma entre todas as forças de superfície e forças de campo atuando sobre o sistema**. Vejamos:

$$\vec{F} = \vec{F}_S + \vec{F}_B$$



A partir da equação acima chega-se a a formulação da segunda lei de Newton para um volume de controle não acelerado:

$$\vec{F} = \vec{F}_S + \vec{F}_B = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \vec{V} \rho dV + \int_{SC} \vec{V} \cdot \rho \cdot \vec{V} \cdot d\vec{A}$$

Quando se tratar de um escoamento uniforme em cada entrada e saída podemos utilizar a seguinte expressão:

$$\vec{F} = \vec{F}_S + \vec{F}_B = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \vec{V} \rho dV + \sum_{SC} \vec{V} \cdot \rho \cdot \vec{V} \cdot \vec{A}$$

As equações acima descrevem que a força total, com suas parcelas de superfícies e de campos, que atua sobre o volume de controle leva à taxa de variação da quantidade de movimento dentro do volume de controle e/ou à taxa líquida na qual a quantidade 1º movimento está deixando o volume de controle por meio da superfície de controle.

Em caso de regime permanente o primeiro termo da equação se anula permanecendo apenas o termo da equação relativo à passagem de massa pela superfície de controle e também as equações acima podem ser escritas em suas componentes escalares.

Vamos ao estudo da cinemática dos fluidos.

4 – Análise dos movimentos dos fluidos

4.1 - Movimento de translação de uma partícula fluida

A cinemática trata do estudo do movimento, ou seja, na cinemática dos fluidos estudamos como ocorre o escoamento dos fluidos e como podemos descrever este movimento. Como estudamos na dinâmica utilizamos o vetor posição e vetor velocidade de um objeto para descrevermos seu movimento a partir das leis de Newton.

Uma vez que aplicamos este método de análise em um escoamento de um fluido estamos utilizando a chamada descrição lagrangiana do momento do fluido. Este método é muito mais complexo, por se tratar de um fluido, que sofre deformações contínuas e não nos permite definir e identificar facilmente as suas partículas no decorrer de seu movimento.

Devido a dificuldade da descrição lagrangiana um método mais comum foi descrito por Leonhard Euler, denominada descrição euleriana. Neste método, um volume finito conhecido como domínio de escoamento ou volume de controle é definido e, através deste volume o fluido escoar para dentro e para fora. Com isso, não precisamos acompanhar a posição e a velocidade de uma partícula de fluido, mas sim podemos definir as variáveis de campos, que são funções do espaço e do tempo no interior do volume de controle.

Uma variável de campo escalar é o campo de pressão (P) que para um escoamento tridimensional geral em regime permanente em coordenadas cartesianas é dada por:



$$P = P(x, y, z, t)$$

O **campo de velocidade** ($\vec{V}$) é uma variável de campo vetorial dado por:

$$\vec{V} = \vec{V}(x, y, z, t)$$

Da mesma maneira o **campo de aceleração** também é uma variável de campo vetorial representado por:

$$\vec{a} = \vec{a}(x, y, z, t)$$

A combinação destas variáveis define o campo de escoamento. O campo de velocidade pode ser expandido em coordenadas cartesianas da seguinte forma:

$$\vec{V} = (u, v, w) = u(x, y, z, t)\vec{i} + v(x, y, z, t)\vec{j} + w(x, y, z, t)\vec{k}$$

Analogamente o campo de aceleração também pode ser expandido em coordenadas cartesianas.

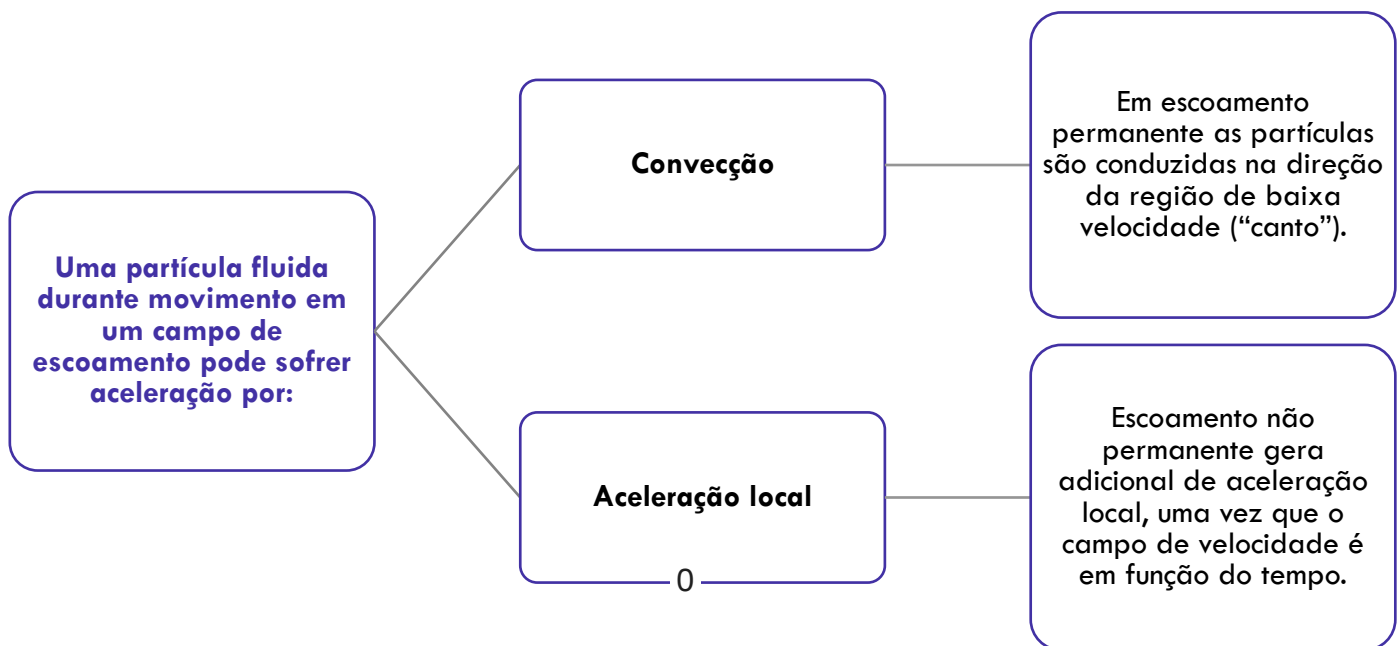
Em questões de prova pode ser dado o campo de velocidade e exigido a determinação da aceleração de uma partícula fluida. Com certeza somos tentados a definir que $\vec{a} = \partial \vec{V} / \partial t$, mas isso é incorreto, pois o campo de velocidade descreve o escoamento inteiro de uma partícula e não somente o movimento individual da partícula.

Para determinarmos a aceleração total de uma partícula fluida num campo de velocidade é necessário a utilização de uma derivada especial que vamos chamar de $D\vec{V}/Dt$. Vejamos:

$$\frac{D\vec{V}}{Dt} = \vec{a} = u \frac{\partial \vec{V}}{\partial x} + v \frac{\partial \vec{V}}{\partial y} + w \frac{\partial \vec{V}}{\partial z} + \frac{\partial \vec{V}}{\partial t}$$

Essa derivada especial em alguns casos é denominada derivada substancial, derivada material ou de derivada de partícula. Fisicamente os três primeiros termos indicam a aceleração convectiva e o termo $\frac{\partial \vec{V}}{\partial t}$ representa a aceleração local da partícula.





Em escoamento permanente a aceleração não é igual a zero, pois neste tipo de escoamento a partícula pode apresentar aceleração convectiva devido ao seu movimento, mesmo em um campo de velocidade permanente. Em escoamento permanente não existe aceleração local, portanto $\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = 0$.



(CESPE/IFF/2018) Considerando-se o campo de velocidades $V(x, y, t) = 5txi + 4tyj$, em que V é o vetor velocidade, t , o tempo, e i e j , os vetores unitários na direção x e y , respectivamente, é correto afirmar que, no instante $t = 2$, a aceleração do ponto $(x, y) = (1,0)$ é igual a

- a) 55.
- b) 75.
- c) 90.
- d) 100.
- e) 105.

Comentário:

Como estudado para definirmos a aceleração devemos calcular a derivada substancial do campo de velocidade da partícula definida pela expressão abaixo para um escoamento bidimensional:

$$\frac{D\vec{V}}{Dt} = \vec{a} = u \frac{\partial \vec{V}}{\partial x} + v \frac{\partial \vec{V}}{\partial y} + \frac{\partial \vec{V}}{\partial t}$$

A partir do enunciado temos que:

$$u = 5.t.x \quad e \quad v = 4.t.y$$



A derivada do campo de velocidade em função do tempo é a aceleração local que é dada por:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} = 5x + 4y$$

Para a obtenção do termo da aceleração convectiva temos que:

$$u \frac{\partial \vec{V}}{\partial x} = (5 \cdot t \cdot x) \cdot (5 \cdot t) = 25t^2x \quad e \quad v \frac{\partial \vec{V}}{\partial y} = (4 \cdot t \cdot y) \cdot (4 \cdot t) = 16t^2y$$

Assim temos que:

$$\frac{D\vec{V}}{Dt} = \vec{a} = 25t^2x \vec{i} + 16t^2y \vec{j} + 5x \vec{i} + 4y \vec{j} =$$

Substituindo os valores dados no enunciado $(x,y)=(1,0)$ e $t=2$ temos que:

$$\vec{a} = 25 \cdot 2^2 \cdot 1 \vec{i} + 16 \cdot 2^2 \cdot 0 \vec{j} + 5 \cdot 1 \vec{i} + 4 \cdot 0 \vec{j} = 105 \vec{i}$$

Logo, a alternativa E está CORRETA e é o gabarito da questão.

4.2 – Outros tipos de movimento de uma partícula de um fluido

Além do movimento de translação uma partícula de um fluido também pode sofrer outros três tipos de movimento que são:

- **Movimento de rotação:** que pode se dar em torno de um dos eixos (x, y, z) ou em todos eles.
- **Deformação linear:** onde os lados da partícula esticam-se ou contraem-se.
- **Deformação angular:** em que os ângulos, iniciais de 90° entre os lados, variam.

A diferença entre rotação e deformação angular se dá pelo fato de que na rotação pura não há nenhuma deformação.

Escoamentos rotacionais ocorrem quando, por alguma razão, as partículas já possuam rotação ou se admitirmos que não existe rotação, as partículas de um fluido começarão a girar se forem submetidas a tensões de cisalhamento superficiais. Em outras palavras, **sempre que houver tensões de cisalhamento haverá rotação** e, isso ocorre sempre que um fluido viscoso sofre deformação angular (cisalhamento).

Em escoamentos viscosos ocorrerá rotação de partículas

Escoamentos em que nenhuma partícula apresenta rotação são denominados escoamentos irrotacionais. Embora este tipo de escoamento não seja real, pois todos os fluidos apresentam viscosidade, em alguns casos é possível admitir que o fluido seja invíscido (não viscoso), uma vez que os efeitos das viscosidades sejam desprezíveis.

Por fim, cabe destacar que **rotação de uma partícula fluida é diferente do escoamento de vórtice, que consiste em linhas de correntes circulares**. No escoamento de vórtice as partículas podem girar a medida em que ocorre o escoamento, mas elas não giram obrigatoriamente.

Prezado aluno (a), encerramos agora o estudo da cinemática dos fluidos.



5 – Equação de Bernoulli

Caro aluno(a), a **equação de Bernoulli**, desenvolvida por Daniel Bernoulli, nos trás uma relação aproximada entre pressão, velocidade e elevação. A **aplicação desta equação é possível quando estamos analisando escoamentos incompressíveis e em regime permanente em que, as forças de atrito resultante são desprezíveis.**

Ao se deduzir a equação de Bernoulli a principal aproximação realizada é pelo fato de que os efeitos viscosos são pequenos, desprezados, quando comparados aos efeitos da inércia, gravidade e pressão.

Como todos os fluidos apresentam viscosidade, não é possível utilizar a equação de Bernoulli em toda a parte em um escoamento, contudo, é possível sua utilização em regiões chamadas de regiões de escoamento sem viscosidade que são aquelas em que as forças viscosas ou resultantes de atrito são desprezíveis em relação as demais forças atuantes. Normalmente a equação de Bernoulli é útil nas regiões de escoamento fora da camada-limite e esteira³ de um escoamento. Vejamos a famosa **equação de Bernoulli**:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + g \cdot z = \text{constante}$$

Esta equação é obtida por meio da conservação do momento de uma partícula de fluido que apresenta movimento ao longo de uma linha de corrente. Ela é usada normalmente na mecânica dos fluidos para escoamento em regime permanente incompressível ao longo de uma linha de corrente em regiões do escoamento sem viscosidade.

Também podemos escrever a **equação de Bernoulli entre dois pontos quaisquer** na mesma linha de corrente. Vejamos:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + g \cdot z_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + g \cdot z_2$$

Note, prezado estrategista, que a equação de Bernoulli é obtida via conservação de momento de uma partícula que se move ao longo de uma linha de corrente. Contudo, ela também pode ser deduzida por meio da primeira lei da termodinâmica aplicada a um sistema com escoamento em regime permanente.

Além disso, se analisarmos cada termo que compõe a equação, notamos que a soma das energias cinética ($\frac{V^2}{2}$), potencial ($g \cdot z$) e de escoamento ($\frac{P}{\rho}$) de uma partícula de fluido será constante ao longo de uma linha de corrente durante um escoamento em regime permanente. Podemos dizer então que está **equação pode ser vista como o princípio da conservação da energia mecânica.**

Devido a sua relativa simplicidade, sempre somos tentados a utilizar a equação de Bernoulli na resolução de questões que envolvam variações de pressões, velocidade e elevação de um fluido, contudo, você deve ter em mente que esta equação pode ser aplicada somente se as suas quatro restrições forem razoáveis. Portanto, você deve decorar estas quatro restrições.





Restrições da equação de Bernoulli

Escoamento em regime permanente

Escoamento sem Atrito

Escoamento ao longo de uma linha de corrente

Escoamento incompressível

9

5.1 – Pressões estática, de Estagnação e Dinâmica

A pressão P utilizada na dedução da equação de Bernoulli é a pressão termodinâmica, também chamada de **pressão estática**. Esta pressão não incorpora nenhum efeito dinâmico.

Ao multiplicarmos a equação de Bernoulli pela densidade obtemos:

$$P + \frac{\rho \cdot V^2}{2} + \rho \cdot g \cdot z = \text{constante (ao longo de uma linha de corrente)}$$

Se analisarmos, notamos que cada termo desta nova equação apresenta unidade de pressão, representando assim um tipo de pressão.

Como dito anteriormente **P é a pressão estática**, **$\left(\frac{\rho \cdot V^2}{2}\right)$ é a pressão dinâmica** que representa o aumento de pressão quando o fluido que está em movimento é parado de maneira isentrópica e, **$(\rho \cdot g \cdot z)$ é a pressão hidrostática** que, neste caso, não é pressão no sentido real, pois seu valor depende do nível de referência adotado. Ela representa os efeitos na altura, em outras palavras, o peso do fluido na pressão.

A soma destas três pressões nos dá a pressão total, logo, a equação de Bernoulli estabelece que a pressão total em uma linha de corrente é constante.

Além das pressões vistas até aqui temos também a pressão de estagnação que representa a pressão em um ponto onde o fluido é parado totalmente de forma isentrópica e ela é dada pela soma das pressões estática e dinâmica. Vejamos:

$$P_{\text{estag}} = P + \rho \frac{V^2}{2} \quad [\text{kPa}]$$

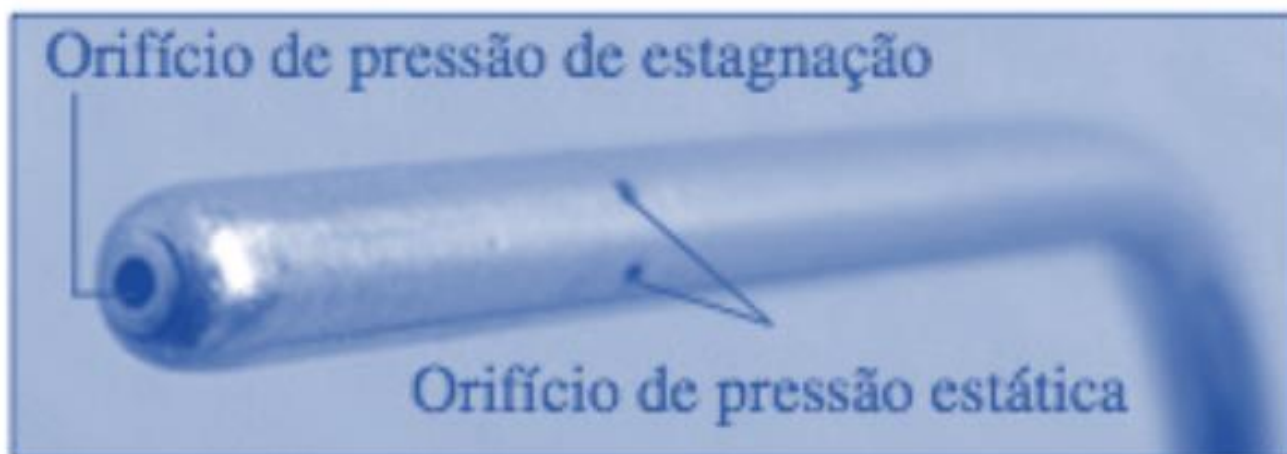
Uma vez que as pressões estática e de estagnação são medidas em um ponto específico a velocidade do fluido naquele ponto é dada por:



$$V = \sqrt{\frac{2(P_{estag} - P)}{\rho}}$$

Desta maneira se conhecermos a pressão estática e a pressão de estagnação de um ponto podemos medir a velocidade local do escoamento.

A pressão de estagnação é medida por meio de uma **sonda que possui um orifício e é posicionada na direção do escoamento principal e em sentido a ele**. Este equipamento é denominado **sonda de pressão de estagnação ou tubo de Pitot**. Vejamos a imagem:

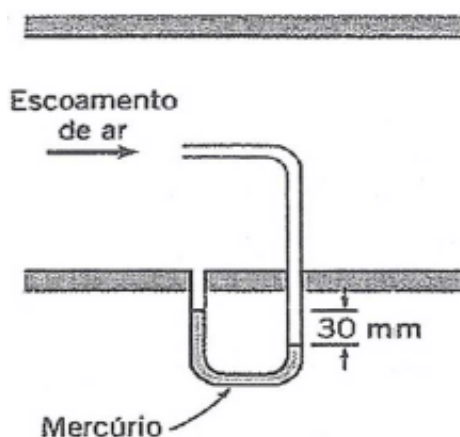


Um tubo de Pitot é um pequeno tubo que possui sua extremidade aberta alinhada de maneira perpendicular ao escoamento para medir o impacto total da pressão de escoamento do fluido. Em casos onde a pressão estática e a pressão de estagnação de um líquido em escoamento possuem valores maiores que a pressão atmosférica, pode ser utilizado um piezômetro, que é um tubo transparente vertical. No tubo piezômetro o líquido se eleva até uma altura de coluna que é proporcional à pressão que está sendo medida.



(FUMARC/CEMIG-2018) Um tubo de pitot é inserido em um escoamento de ar (na condição-padrão) para medir a velocidade do escoamento. O tubo é inserido apontando para montante dentro do escoamento, de modo que a pressão captada pela sonda é a pressão de estagnação. A pressão estática é medida no mesmo local do escoamento com uma tomada de pressão na parede. Se a diferença de pressão é de 30mm de mercúrio, determine a velocidade de escoamento. Admita que o escoamento em regime permanente, escoamento incompressível e desaceleração sem atrito.





Dados:

$\rho_{\text{água}} = 1000 \text{ kg} / \text{m}^3$; $g = 9,81 \text{ m} / \text{s}$; gravidade específica do mercúrio = 13,6; $\rho_{\text{ar}} = 1,23 \text{ kg} / \text{m}^3$

- a) 50,8m/s
- b) 60,8m/s
- c) 70,8m/s
- d) 80,8m/s

Comentário:

Adotando que o escoamento é em regime permanente, incompressível, ao longo de uma linha de corrente e houver desaceleração sem atrito ao longo da linha de corrente de estagnação podemos utilizar a seguinte equação para determinarmos a velocidade de escoamento:

$$V = \sqrt{\frac{2(P_{\text{estag}} - P)}{\rho_{\text{ar}}}}$$

A diferença de pressão $P_{\text{estag}} - P$ é dada por 30mm de mercúrio conforme dito no enunciado e temos que a gravidade específica do mercúrio é 13,6. A gravidade específica ou densidade relativa de uma substância é dada pela relação entre a densidade de uma substância e a densidade da água na mesma temperatura. Assim...

$$\text{gravidade específica do mercúrio} = \frac{\text{densidade do mercúrio}}{\text{densidade da água}}$$

$$\rho_{Hg} = \rho_{H_2O} \cdot GE = 1000 \cdot 13,6 = 13600 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Descoberta a densidade do mercúrio podemos calcular a diferença entre a pressão de estagnação e a pressão estática por...

$$(P_{\text{estag}} - P) = \rho_{Hg} \cdot g \cdot h = 13600 \cdot 9,81 \cdot 0,03 = 4002,5$$

Portanto a velocidade do fluxo será:



$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot (4002,5)}{1,23}} \cong 80,8 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Logo, a **alternativa D** está CORRETA e é o gabarito da questão

Como a equação de Bernoulli pode ser utilizada entre dois pontos quaisquer em uma linha de corrente desde que as demais restrições sejam atendidas existem diversas aplicações em que podemos utilizá-la. Como por exemplo em um escoamento em bocal com seção convergente (subsônico), escoamento através de um sifão, escoamento de água sob uma comporta ou descarga de água de um tanque grande, medição de velocidade com um tubo de Pitot, entre outras.



Sempre que analisarmos um **reservatório grande e um jato livre alimentado pelo reservatório** em um ponto com altura h abaixo da superfície, **a velocidade do jato será $V = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$** .

Caro estrategista, apesar de existirem diversas aplicações para a equação de Bernoulli devemos tomar cuidado para não a aplicar em situações que as restrições não são satisfeitas. Vejamos alguns **exemplos de onde não é possível (recomendado) a utilização da equação de Bernoulli:**

- Aplicações que envolvam um difusor subsônico (seção divergente) ou expansão súbita. Neste dispositivo o escoamento sofre desaceleração devido a um gradiente de pressão adverso o que causará um rápido crescimento da camada-limite e sua separação.
- Sifões que apresentam cantos vivos, curvas bruscas ou grande comprimento, pois nos dois primeiros casos ocorre afastamento do escoamento em relação ao previsto pela equação e um grande comprimento não permite desconsiderarmos os efeitos de atrito.
- Através de uma máquina que possua pás propulsora, bomba, turbina, moinho de vento, entre outras. A equação de Bernoulli pode ser aplicada entre pontos antes ou após a máquina, mas não através, pois a equação foi deduzida na ausência de superfícies móveis.
- Em situações que envolvam gases a compressibilidade deve ser considerada. Podemos desconsiderar os efeitos de compressibilidade causada pela compressão dinâmica em razão do movimento se o número de Mach local for inferior a 0,3.
- Em situações que ocorram variações de temperatura de gases, pois estas podem causar grandes mudanças na massa específica de um gás, mesmo em escoamento com velocidade inferior a $M=0,3$. Por exemplo, não se recomenda a utilização da equação de Bernoulli através de um elemento de aquecimento, como um secador de cabelos.

Visto isto, recomendo a você, meu caro aluno (a), a conhecer as diversas aplicações da equação de Bernoulli e suas restrições de uma maneira clara. Muito provavelmente em provas que envolvam a mecânica dos fluidos você irá se deparar com questões que exijam o conhecimento desta equação e, claro, não deixe de resolver questões que envolvam suas demais aplicações.



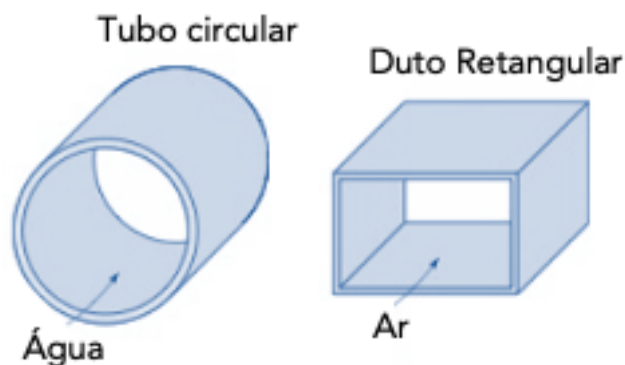
6 – Escoamento em Tubos

Vamos agora ao estudo do **escoamento em tubos** que podem ser circulares quanto não circulares. Alguns exemplos de escoamento em tubos são: água quente e fria em nossos lares, petróleo e gás natural por grandes tubulações, sangue pelas nossas artérias e veias, entre outros.

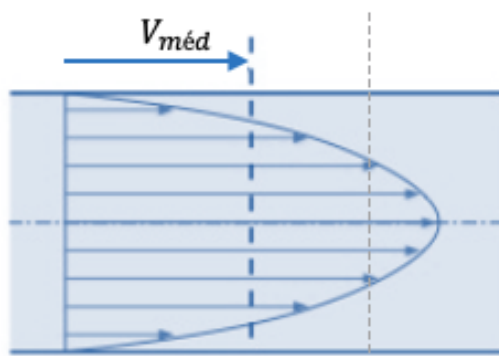
Como visto anteriormente os **escoamentos podem ser internos ou externos** e, nesta seção da nossa aula, **estudaremos o escoamento interno** em que o meio condutor é completamente preenchido pelo fluido.

No escoamento de um líquido ou gás através de tubos ou dutos utilizamos um ventilador ou bomba que força o líquido ou gás a escoar pela tubulação. Nestes escoamentos, devemos estar atentos ao **atrito, quando não desprezível, que gera à queda de pressão e à perda de carga durante o escoamento**. Na hora de se determinar a potência de uma bomba ou ventilador deve-se sempre levar em consideração as perdas causadas pelo atrito.

Normalmente, como você já deve ter notado, utilizasse dutos circulares para se transportar líquidos. Você já se perguntou o motivo disto? Vamos lá, isso se deve ao fato de que os tubos com seção transversal circular suportam grande diferença de pressão entre o interior e o exterior sem sofrer distorções significativas. Logo, os tubos não circulares são mais utilizados em aplicações de sistemas de aquecimento e refrigeração de prédios, por exemplo, onde a diferença de pressão é pequena, os custos para fabricação e montagem são menores.



A velocidade do fluido de um tubo não é igual em todas as regiões do escoamento sendo que ela varia do zero, na superfície em razão da condição de não-escorregamento, até o seu valor máximo no centro do tubo. Também, é conveniente trabalharmos com uma velocidade média que é constante durante o escoamento incompressível e com área da seção transversal uniforme. Vejamos a imagem abaixo:



Para se determinar a velocidade média do escoamento usualmente é conveniente utilizarmos o princípio de conservação da massa..

6.1 – Escoamento laminar e turbulento

Ao analisar o escoamento de um tubo nota-se que o escoamento é aerodinâmico a baixas velocidade e caótico à medida que a velocidade ultrapassa um valor crítico. Isso pode ser notado na fumaça de um cigarro. No início ela sobe de maneira suave até atingir um ponto onde começa a se dispersar de maneira aleatória e continua subindo.

Na região com linhas de correntes suaves temos um **escoamento laminar com movimento altamente ordenado** e na **região com movimento desordenado temos um escoamento turbulento com flutuações do fluido**. Entre estas duas regiões ocorre o escoamento de transição em que ocorre flutuação entre escoamento laminar e turbulento antes de tornar-se completamente turbulento.

Nos escoamentos turbulentos ocorre um aumento da quantidade de movimento entre as partículas do fluido, aumentando a força de atrito atuante na superfície, em consequência disto exige uma maior potência de bombeamento. O fator de atrito atinge o seu máximo quando o escoamento é completamente turbulento. Vejamos quais os **fatores que depende a transição do escoamento laminar para turbulento**:

Transição de escoamento laminar para turbulento depende principalmente:

- da geometria da tubulação;
- da rugosidade da superfície;
- da temperatura da superfície;
- da velocidade de escoamento;
- do tipo de fluido

Como já estudamos, em 1880, Osborne Reynolds estabeleceu que o regime de escoamento é dependente principalmente da relação entre as forças inerciais e as forças viscosas do fluido, estabelecida pelo número de Reynolds, denominado em sua homenagem.

$$Re = \rho \frac{\vec{V}D}{\mu}$$

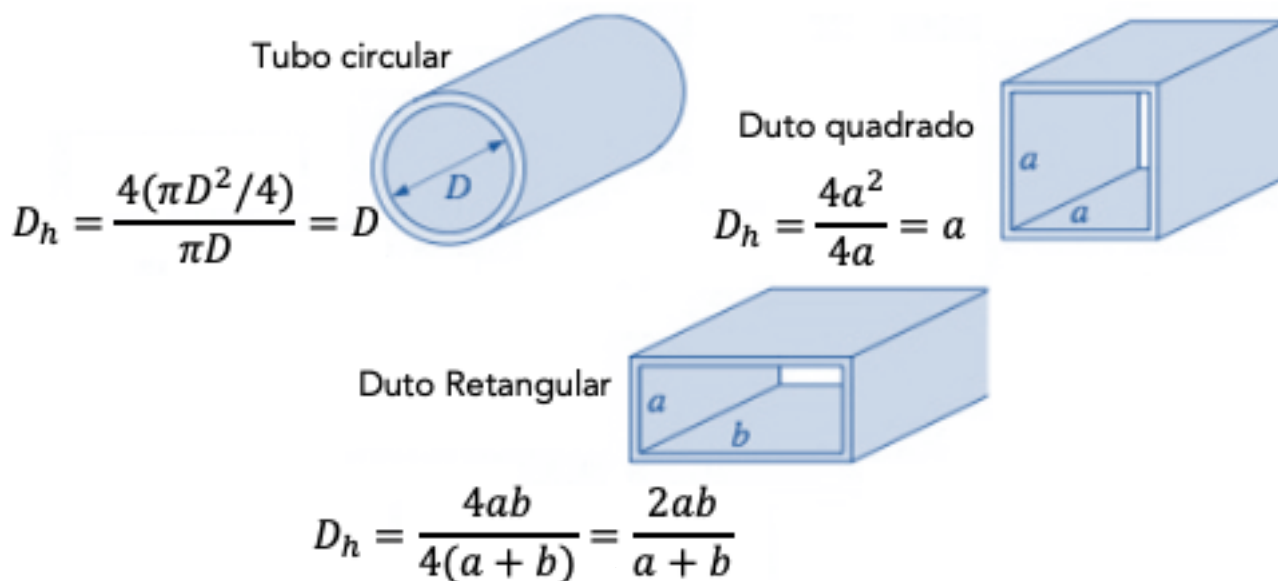
Professor, uma vez que o número de Reynolds nos exige o diâmetro da tubulação, como podemos calcular seu valor para um tubo com seção transversal não circular?

Para escoamento em tubos não circulares o número de Reynolds pode ser calculado a partir do **diâmetro hidráulico** (D_h) que é definido por:

$$D_h = \frac{4 \cdot A}{p}$$

Onde A é a área da seção transversal e p é o perímetro molhado. Vejamos a imagem:





A tabela abaixo nos traz valores de referência aproximados para escoamento laminar, de transição e turbulento para a maioria dos escoamentos.

$Re \leq 2300$	Escoamento Laminar
$2300 \leq Re \leq 4000$	Escoamento de Transição
$Re \geq 4000$	Escoamento Turbulento

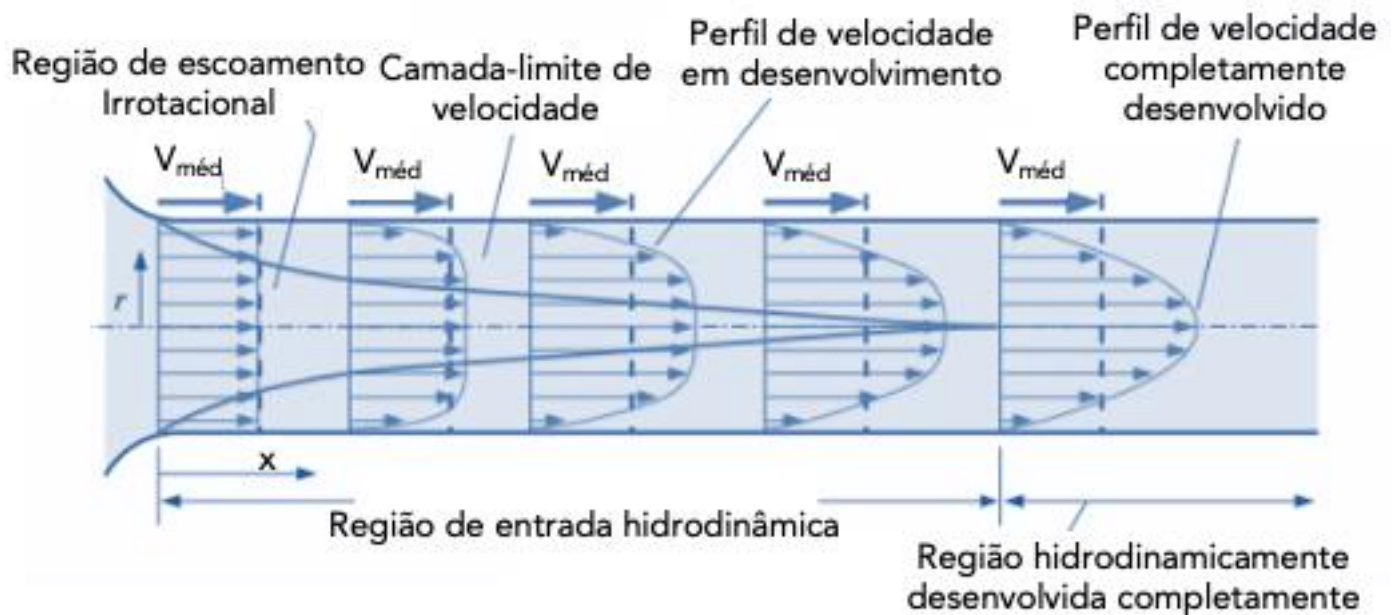
Cabe destacar, que em condições com condições completamente controladas, em tubos suaves, evitando-se distúrbios e vibrações pode-se obter escoamentos laminares para números de Reynolds de até 100000. Logo, os valores de referência acima não são regras, mas sim os valores geralmente adotados.

6.2 – Região de entrada

Quando um fluido adentra em um tubo circular com velocidade uniforme, à condição de não-eskorregamento faz com que as partículas do fluido na camada em contato com a superfície parem completamente. Além disso, a camada faz com que as partículas de fluido que estão nas camadas adjacentes reduzam a velocidade devido ao atrito.

Como forma de compensação desta redução de velocidade, a velocidade do fluido na seção média do tubo aumenta uma vez que a vazão mássica do tubo permanece constante. Essa variação de intensidade de velocidade do fluido dentro do tubo é denominada gradiente de velocidade, vejamos a imagem abaixo:





A **camada-limite** é a **região onde os efeitos das forças de cisalhamento viscosas, oriundas da viscosidade do fluido, são sentidas**. Temos ainda uma fronteira hipotética que divide o tubo em região da camada limite, em que os efeitos viscosos são significativos e, região de escoamento irrotacional (central) que é a região onde podemos desprezar os efeitos do atrito e a velocidade permanece constante radialmente.

A espessura da camada-limite cresce gradativamente na direção do escoamento até alcançar o centro do tubo, preenchendo todo ele. A região da entrada até o ponto onde a camada-limite atinge o tamanho máximo é denominada região de entrada hidrodinâmica que possui comprimento de entrada hidrodinâmica (L_h)

A região após a região de entrada é conhecida como região hidrodinamicamente completamente desenvolvida, pois nela o escoamento é completamente desenvolvido quando não variação do perfil de temperatura.

O **comprimento de entrada hidrodinâmica** pode ser calculado de maneira aproximada pela seguinte expressão:

$$L_{h,laminar} \cong 0,05. Re. D$$

Em que D é o diâmetro da tubulação e Re é o número de Reynolds. Note que para $Re=20$ o comprimento será igual ao diâmetro da tubulação e no caso de escoamento laminar limite ($Re=2300$) o comprimento da entrada hidrodinâmica será de $115D$.

No escoamento turbulento o comprimento de entrada é muito mais curto, logo ele depende menos do número de Reynolds. Assim, em muitos escoamentos de tubo os efeitos de entrada se tornam desprezíveis para um comprimento além de 10 diâmetros. Vejamos as equações:

$$L_{h,turbulento} = 1,359. D. Re_D^{1/4} \quad \text{ou} \quad L_{h,turbulento} \approx 10D$$



6.3 – Queda de pressão e perda de carga

Caro estrategista, geralmente a perda de carga não possui uma incidência tão aprofundada em questões de concursos. Contudo, algumas questões podem exigir conhecimentos desses tópicos, pois na engenharia mecânica, no dimensionamento de bombas e turbinas devemos sempre considerar a perda de carga em tubulações.

A **queda de pressão devido aos efeitos viscosos**, que indica uma perda irreversível de pressão é chamada de perda de pressão, pode ser expressa por:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{32 \cdot \mu \cdot L \cdot V_{méd}}{D^2}$$

Note que quando desconsideramos os efeitos do atrito a viscosidade (μ) será zero e assim não haverá perda de pressão. Na equação acima o (D) é o diâmetro constante da tubulação, (L) o seu comprimento e ($V_{méd}$) é a velocidade média.

Uma outra maneira para representarmos a **perda de pressão** é através da seguinte equação:

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho V_{méd}^2}{2}$$

Em que (f) é o fator de atrito de Darcy-Weisbach, que possui esse nome em homenagem ao francês Henry Darcy e ao alemão Julius Weisbach, dois engenheiros que ajudaram no seu desenvolvimento.

Igualando as equações acima chegamos na seguinte relação para o **fator de atrito** de um tubo circular em escoamento laminar:

$$f = \frac{64\mu}{\rho D V_{méd}} = \frac{64}{Re}$$

Assim nota-se que o fator de atrito, no escoamento laminar, é dado em função do número de Reynolds sendo independente da rugosidade da superfície do tubo.

Em algumas situações é conveniente expressar a perda de pressão em razão da altura equivalente da coluna de fluido, denominada perda de carga h_L . A perda de carga em um tubo é obtida pela **fórmula de Darcy-Weisbach** que indica a perda de carga decorrente do escoamento de água em tubulações cheias. Vejamos:

$$h_L = \frac{\Delta P}{\rho g} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V_{méd}^2}{2g}$$

Prezado concurseiro(a), a perda de carga representa, em outras palavras, a altura a mais que o fluido precisa ser elevado por uma bomba para superar as perdas causadas pelo atrito da tubulação.

Conhecendo a perda de carga ou perda de pressão for conhecida a potência de bombeamento pode ser calculado por:



$$\dot{W}_{bomba,L} = \dot{V} \cdot \Delta P = \dot{V} \cdot \rho \cdot g \cdot h_L = \dot{m} \cdot g \cdot h_L$$

Em que $\dot{V}$ e $\dot{m}$ são a vazão volumétrica e a vazão mássica respectivamente.

6.3.1 - Outras perdas

Além da perda de carga causada pelo atrito temos também as **perdas ocasionadas pelas diversos acessórios que uma tubulação apresenta** como por exemplo válvulas, curvas, cotovelos, têes, entradas, saídas, extensões e reduções. Essas conexões fazem com que ocorra uma variação do escoamento suave do fluido causando perdas adicionais.

Quando estamos abordando um sistema comum com grande comprimento essas perdas são pequenas quando comparadas a perda total no tubo (grandes perdas) e por isso são denominadas perdas menores. Contudo, um sistema curto que apresente diversos componentes como curvas e válvulas pode apresentar sua maior parte de perdas devidos as conexões. Outro exemplo é a perda que uma válvula parcialmente aberta pode causar, pois ela estará causando uma queda de vazão, podendo representar a maior perda de um sistema.

Em questões de provas comumente é fornecida a perda causada por esses componentes e também ela pode ser calculada vai o coeficiente de perda K_L que geralmente é fornecido via fabricantes. Assim a perda de um determinado componente é dada por:

$$h_L = \frac{K_L \cdot V^2}{2g}$$

A perda total em um sistema é dada pela soma de todas as perdas (atrito+acessórios).

Para encerrarmos podemos relacionar a perda de carga total de um sistema com a equação de Bernoulli, para escoamento estacionário, incompressível e unidimensional obtendo-se:

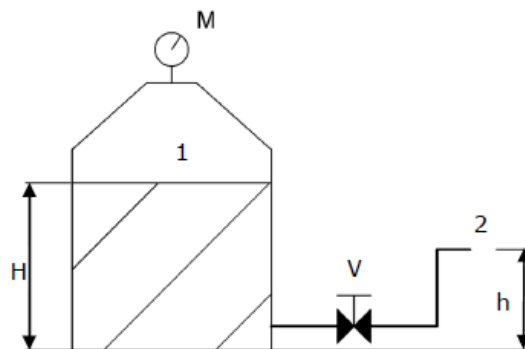
$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_L$$

Em que a perda de pressão $\Delta P = \rho g h_L$.



(CEV UECE/Pref. Sobral-2018) Um fermentador de grande capacidade contém um líquido de trabalho a um nível “H”, conforme é apresentado na figura a seguir.





Dados:

- $H = 5 \text{ m}$;
- $h = 3 \text{ m}$;
- $1 \text{ atm} = 100 \text{ kPa}$;
- $g = 10 \text{ m/s}^2$;
- $\rho_{\text{líquido}} = 1000 \text{ kg/m}^3$;
- perda de carga total na tubulação e acessórios = 388 kPa .

Considere 1- Regime estacionário; 2 – Fluido incompressível.

Sabendo que o manômetro absoluto “M” que mede a pressão da atmosfera do fermentador apresenta uma leitura de 5 atm, pode-se afirmar corretamente que a velocidade do líquido de trabalho ao sair para a atmosfera ambiente pela extremidade “2” da tubulação, quando a válvula “V” é aberta, é de

- a) $9,16 \text{ m/s}$.
- b) $8,00 \text{ m/s}$.
- c) $28,97 \text{ m/s}$.
- d) $16,25 \text{ m/s}$.

Comentário:

Como a questão nos traz um sistema em regime estacionário e o fluido incompressível podemos resolver a questão através da aplicação da equação de Bernoulli considerando a perda de carga total na tubulação. Vejamos:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \frac{\Delta P}{\rho g}$$

A pressão $P_1 = 5 \text{ atm} = 500 \text{ kPa}$ e a pressão $P_2 = 1 \text{ atm} = 100 \text{ kPa}$, pois o fluido escoar para a atmosfera livre em 2. A velocidade $V_1 \cong 0$ uma vez que o reservatório possui grande capacidade. E por fim adotando como referência o solo $z_1 = 5$ e $z_2 = 3$. Substituindo os valores na equação temos que:

$$\frac{500\text{k}}{1000 \cdot 10} + \frac{0}{2 \cdot 10} + 5 = \frac{100\text{k}}{1000 \cdot 10} + \frac{V_2^2}{2 \cdot 10} + 3 + \frac{388\text{k}}{1000 \cdot 10}$$

$$\frac{500\text{k}}{1000 \cdot 10} + \frac{0}{2 \cdot 10} + 5 = \frac{100\text{k}}{1000 \cdot 10} + \frac{V_2^2}{2 \cdot 10} + 3 + \frac{388\text{k}}{1000 \cdot 10}$$



$$50 + 5 = 10 + \frac{V_2^2}{20} + 3 + 38,8$$

$$V_2^2 = 20 \cdot (50 + 5 - 10 - 3 - 38,8) \Rightarrow V_2^2 = 20 \cdot 3,2 = 64$$

$$V_2 = \sqrt{64} = 8 \text{ m/s}$$

Logo, a **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão.

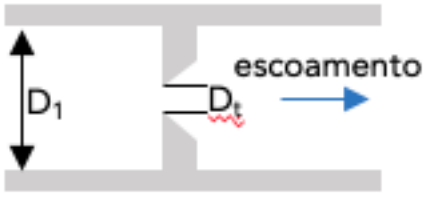
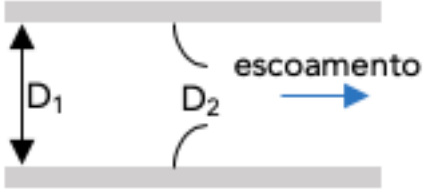
Vamos agora ao estudo dos medidores de vazão para escoamentos internos.

6.4 – Medidores de vazão para escoamento interno

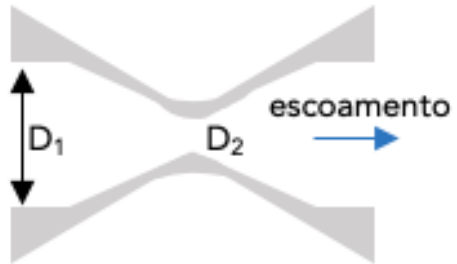
Prezado estrategista, na sua prova você pode vir a se deparar com questões sobre **medidores de vazão para escoamento interno**. A grande parte destes medidores se baseia na redução de área (restrição) para escoamentos interno (exceto o elemento de escoamento laminar). Estes medidores são baseados no princípio da aceleração de uma corrente fluido por meio de um bocal.

O objetivo desta restrição é que uma variação de velocidade proporcione uma variação de pressão e a partir da medição da pressão chega-se à vazão inferida a partir do princípio de conservação da massa e equação de Bernoulli. Assim é comprovado que a vazão mássica para um determinado fluido e um medidor com geometria A_1 e A_2 , é proporcional à raiz quadrada da pressão detectada pelas medidas de pressão do medidor.

Os principais tipos de medidores de vazão para escoamento interno são: placa de orifício, bocal de vazão e Venturi. Sempre que um dispositivo de medição de vazão causar uma perda de carga grande ele acarretará um alto custo de operação, uma vez que consumirá boa parte da energia do fluido. Assim é muito importante comparar o custo inicial de instalação de um medidor de vazão e seu custo operacional. Vejamos a tabela abaixo:

Medidor de vazão	Diagrama	Perda de Carga	Custo inicial
Orifício		Alta	Baixo
Bocal medidor		Intermediária	Intermediário



Venturi		Baixa	Alto
---------	---	-------	------

6.4.1 – Placa de orifício

O medidor de placa de orifício consiste em uma placa fina interposta entre flanges de tubos. Devido ao fato de possuir uma simples geometria o seu custo é reduzido e apresenta fácil instalação ou reposição. As principais desvantagens da placa de orifício são a limitação de sua capacidade e a alta perda de carga causada pela expansão não controlada a jusante do elemento medidor.

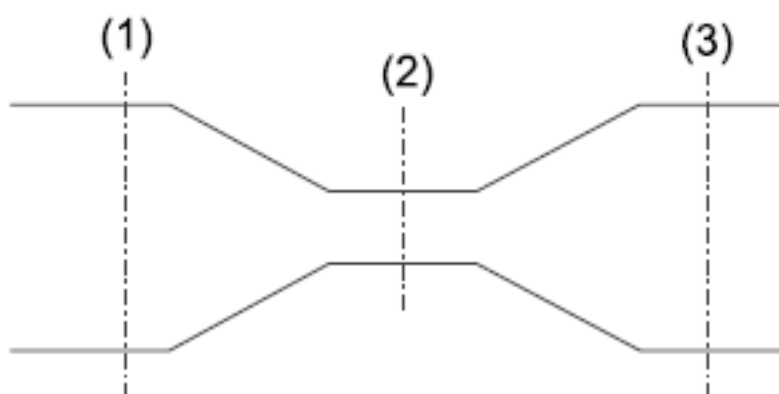
6.4.2 – Bocais medidores

Os bocais medidores podem ser instalados em câmaras pressurizadas (plenos) ou em dutos. Geralmente apresentam a seção do bocal como um quarto de elipse.

Para a instalação de bocais medidores em plenos os bocais podem ser fabricados em alumínio expandido, fibra de vidro moldada entre outros materiais de menor custo. Logo, possuem fabricação simples e de baixo custo. A pressão na câmara pressurizada é igual a P_2 , portanto, a medição da pressão de jusante não é crítica.

6.4.3 – Venturi

Os tubos de Venturi ou medidor de Venturi são fabricados normalmente via fundição e usinados com tolerância extremamente pequena de maneira a reproduzir o desempenho de projeto padrão. Por isso estes medidores são pesados, volumosos e de alto custo. Nos tubos de Venturi a perda de carga é baixa e eles são autolimpante devido a seu perfeito acabamento interno apresentando uma superfície muito lisa. Vejamos a imagem.



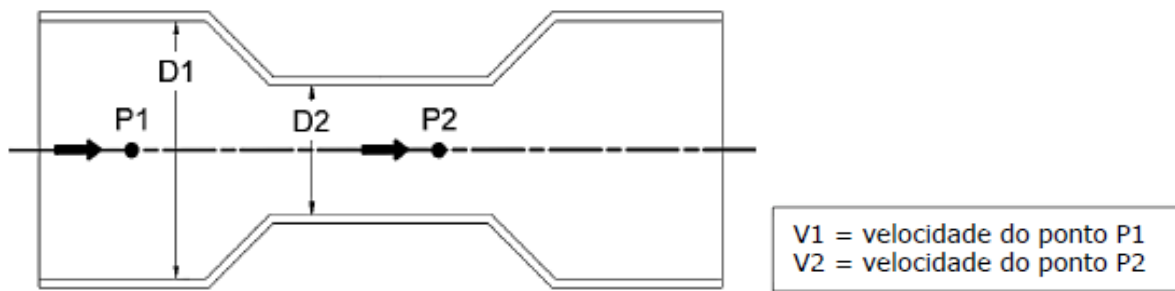
Os pontos 1, 2 e 3, indicam os pontos de tomada de pressão. Na seção com área menor a velocidade do escoamento será maior, via princípio de conservação da massa e, assim, a pressão será menor. Portanto, onde a velocidade for menor (pontos 1 e 3), a pressão será maior.



Me arrisco a dizer que o tubo de Venturi é o mais famoso medidor de vazão e, caso venha a aparecer alguma questão sobre medidores de vazão internos em sua prova, provavelmente será sobre Venturi.



(CEV UECE/Pref. Sobral-2018) Um líquido incompressível com massa específica “ ρ ” escoam através de um tubo de Venturi conforme apresentado na figura a seguir.



Sabendo que a relação entre os diâmetros é $D_1/D_2=2$, e que o escoamento se encontra em um regime estacionário e sem atrito, a diferença de pressão entre os pontos P1 e P2, que se encontram alinhados no sentido do fluxo, pode ser dada por

- a) $2\rho(15V_2^2)$
- b) $\frac{\rho}{2}(15V_1^2)$
- c) $2\rho(15V_1^2)$
- d) $\frac{\rho}{2}(15V_2^2)$

Comentário:

Para resolução desta questão primeiramente devemos aplicar o princípio de conservação da massa para encontrarmos a relação entre as velocidades 1 e 2. Vejamos:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = V_1 A_1 = V_2 A_2 \Rightarrow V_2 = \frac{V_1 A_1}{A_2}$$

Sabendo-se que $A = \frac{\pi D^2}{4}$ e $D_1 = 2D_2$ obtemos:

$$A_1 = \frac{\pi(2D_2)^2}{4} ; A_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} \Rightarrow \frac{A_1}{A_2} = \frac{\frac{\pi(2D_2)^2}{4}}{\frac{\pi D_2^2}{4}} \Rightarrow \frac{A_1}{A_2} = 4$$

Substituindo na equação da velocidade temos que:

$$V_2 = \frac{V_1 A_1}{A_2} = 4V_1$$

Feito isso, devemos aplicar a equação de Bernoulli para um líquido incompressível para encontrarmos a diferença de pressão $P_1 - P_2$. Vejamos:



$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2}$$

Multiplicando todos os termos da equação pelo peso específico:

$$P_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_2^2$$

Isolando $P_1 - P_2$:

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_2^2 - \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_1^2 \right)$$

Substituindo $V_2 = 4V_1$ e rearranjando a equação:

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho [(4V_1)^2 - V_1^2] = \frac{1}{2} \cdot \rho [16V_1^2 - V_1^2] = \frac{1}{2} \cdot \rho (15V_1^2)$$

Logo, a **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão.

Vamos adiante!

7 - Análise Dimensional e Semelhança

Caro(a) estrategista, vamos estudar a **análise dimensional e semelhança**.

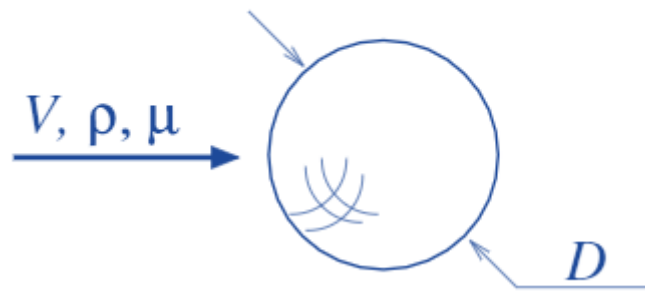
No estudo da mecânica dos fluidos necessitamos muitas vezes da investigação experimental para a obtenção de resultados confiáveis. Dessa forma, a partir da análise dimensional e semelhança é possível a realização de ensaios, a partir de modelos em laboratório. Posteriormente, esses resultados obtidos experimentalmente podem ser aplicados em escalas reais.

Esses ensaios são realizados de modo a se evitar equações com maior complexidade, diversas variáveis e de difícil solução. Também, busca-se a obtenção do máximo de informações com o mínimo de experimentos, para redução de custos.

7.1 - Análise dimensional

Prezado(a) aluno(a), vamos iniciar o estudo da **análise dimensional** através de um exemplo em que temos um escoamento ao redor de uma esfera e deseja-se saber como a força de arrasto aerodinâmico é influenciada pelas variáveis que são a velocidade (V), a massa específica (ρ), viscosidade do fluido (μ) e o diâmetro da esfera (D).



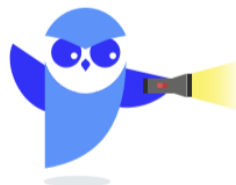


Nota-se que temos diversas variáveis e será demandado muito tempo e quantidade de experimentos para a determinação dessa força de arrasto. Sem contar as dificuldades com o equacionamento e suas soluções.

Assim, surge a **análise dimensional para aglomerar as variáveis** (V , ρ , μ e D) **em um único parâmetro adimensional**, com um determinado significado físico, que irá reunir vários parâmetros e reduzir o número de experimentos necessários para analisar um fenômeno.

Professor, como encontrar esses números adimensionais? A maneira para determinação desses adimensionais se dá pela metodologia do **teorema PI Buckingham**.

ESCLARECENDO!



Antes de adentrarmos no estudo do teorema de Pi Buckingham precisamos conhecer as **principais dimensões básicas (fundamentais)** das grandezas físicas que são a **massa (M)**, o **comprimento (L)**, o **tempo (T)** e a **temperatura (θ)** e aprender como representar as demais unidades em função delas.

Como sabemos, toda grandeza possui uma informação quantitativa (valor numérico) e um dado qualitativo (unidade de medida). Ainda, de acordo com o SI temos as grandezas primárias e secundárias.

Para aplicação da análise dimensional precisamos de uma homogeneidade dimensional, ou seja, toda equação que envolve variáveis físicas precisar ter a mesma unidade de medida em ambos os lados do sinal da igualdade. Vejamos um exemplo na equação do trabalho realizado por um gás, indicado pela unidade [N.m] (Newton metro).

$$W = P\Delta V$$



A unidade da pressão é o Pascal, dado por N/m^2 e a unidade do volume é o m^3 , assim em termos de unidades temos:

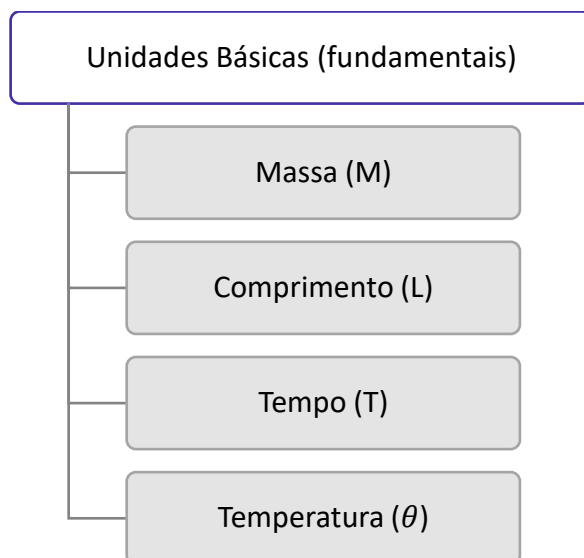
$$N \cdot m = \frac{N}{m^2} \cdot m^3, \quad \text{ou seja,} \quad N \cdot m = N \cdot m$$

Como a unidade da Força (F) é o Newton e a unidade de comprimento (L) é o metro, podemos expressar simbolicamente a relação acima como:

$$F \cdot L = F \cdot L^{-2} \cdot L^3, \quad \text{ou seja,} \quad F \cdot L = F \cdot L$$

A unidade Newton é igual a massa multiplicada pela aceleração da gravidade, escrevendo-a em função das unidades fundamentais temos:

$$MLT^{-2}$$



A corrente também pode ser acrescentada como uma unidade básica fundamental.

Visto isso, retornamos ao exemplo da esfera e sua solução por meio do **teorema Pi**.





Técnicamente, o teorema PI diz que se um fenômeno físico é dependente de n variáveis dimensionais, podemos reduzir ele para $k-r$ produtos dimensionais independentes, em que r é o número mínimo de dimensões básicas necessárias para descrever as variáveis.

Normalmente $n-k$ é igual ao número de dimensões fundamentais que regem o problema.

Gerlamente na análise dimensional utilizasse o símbolo Π (pi grego maiúsculo) para representar um produto de variáveis dimensionais cujo resultado seja adimensional.

Parece um tanto confuso, mas vamos para um passo a passo para o teorema PI que pode ser utilizado em uma questão de prova.

1 - Analisar as variáveis envolvidas na questão e descobrir quem elas são.

Por exemplo a variável força do exemplo da esfera acima, pode ser descrita em função do diâmetro, velocidade, viscosidade e massa específica.

$$F = f(D, V, \mu, \rho)$$

2 - Determinar a quantidade de variáveis dimensionais envolvidas.

No exemplo temos um total de 5 variáveis envolvidas que são a força, o diâmetro, a viscosidade e a massa específica.

3 - Relacionar as variáveis com as dimensões básicas.

Vejamos:

$$F = M^1 L^1 T^{-2} = \frac{kg \cdot m}{s^2} = N$$

$$D = L = m$$

$$V = L T^{-1} = \frac{m}{s}$$

$$\mu = M L^{-1} T^{-1} = \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\rho = M L^{-3} = \frac{kg}{m^3}$$



4 - Calcular o número de grupos PI (Adimensionais).

O número de grupos Pi é dado por:

$$N^{\circ} \text{ grupos } \pi = N^{\circ} \text{ de variáveis} - N^{\circ} \text{ de dimensões}$$

$$N^{\circ} \text{ grupos } \pi = 5 - 3 = 2$$

No nosso caso temos 5 variáveis e três dimensões que descrevem essas variáveis que são MLT.

5 - Escolher as variáveis de repetição, em que o número necessário é igual ao número de dimensões básicas.

No nosso caso, $r=3$, ou seja, três variáveis devem ser escolhidas. Como por exemplo, a massa específica, a velocidade e o diâmetro da esfera. Uma dica é sempre escolher aquelas que são mais simples em termos de combinação das dimensões básicas. Além disso, ao multiplicarmos uma pela outra não podemos obter um adimensional. Vejamos:

$$A^a B^b C^c \neq M^0 L^0 T^0$$

$$A = \rho; B = V \text{ e } C = D$$

$$\rho V D = (ML^{-3}) \cdot (LT^{-1}) \cdot L \neq M^0 L^0 T^0 (\text{adimensional})$$

6 - Formar um termo Π multiplicando uma das variáveis não repetidas (que sobrou), elevada a um expoente que torne a combinação adimensional.

Nesse caso, restaram a força e a viscosidade. Para o termo Π_1 vamos utilizar a força.

$$\Pi_1 = \rho^a V^b D^c \cdot F$$

Em termos de dimensões básicas, precisamos determinar os expoentes a, b e c para satisfazer a relação:

$$\left(\frac{M}{L^3}\right)^a \left(\frac{L}{T}\right)^b (L)^c \cdot \left(\frac{ML}{T^2}\right)^1 = M^0 L^0 T^0 (\text{adimensional})$$

Para determinarmos os expoentes devemos agrupar as dimensões determinando um sistema de equações, ou seja, em relação a massa M temos:

$$M^{a+1} = M^0 \Rightarrow a + 1 = 0 \Rightarrow a = -1$$

Em relação ao tempo T obtemos:

$$T^{-b-2} = T^0 \Rightarrow b = -2$$

Em relação ao comprimento L obtemos:



$$L^{-3a+b+c+1} = L^0 \Rightarrow c = -2$$

Portanto,

$$\Pi_1 = \rho^{-1} V^{-2} D^{-2} \cdot F = \frac{F}{\rho V^2 D^2}$$

7 - Repetir o passo 6 para cada uma das variáveis não repetidas remanescentes.

Para o termo Π_2 restou a viscosidade.

$$\Pi_2 = \rho^d V^e D^f \cdot \mu$$

Em termos de dimensões básicas, precisamos determinar os expoentes d, e e f para satisfazer a relação:

$$\left(\frac{M}{L^3}\right)^d \left(\frac{L}{T}\right)^e (L)^f \cdot \left(\frac{M}{LT}\right)^1 = M^0 L^0 T^0 \text{ (adimensional)}$$

Para determinarmos os expoentes devemos agrupar as dimensões, ou seja, em relação a massa M temos:

$$M^{d+1} = M^0 \Rightarrow d = -1$$

Em relação ao tempo T obtemos:

$$T^{-e-1} = T^0 \Rightarrow e = -1$$

Em relação ao comprimento L obtemos:

$$L^{-3d+e+f-1} = L^0 \Rightarrow f = -1$$

Logo,

$$\Pi_2 = \rho^{-1} V^{-1} D^{-1} \cdot \mu = \frac{\mu}{\rho V D}$$

8 - Verificação da adimensionalidade em relação as dimensões fundamentais.

$$\Pi_1 = \rho^{-1} V^{-2} D^{-2} \cdot F = \frac{F}{\rho V^2 D^2} = \frac{ML}{T^2} \frac{L^3}{M} \frac{T^2}{L^2} \frac{1}{L^2} = ok!$$

$$\Pi_2 = \rho^{-1} V^{-1} D^{-1} \cdot \mu = \frac{\mu}{\rho V D} = \frac{M}{LT} \frac{L^3}{M} \frac{T}{L} \frac{1}{L} = ok!$$



Note que o termo Π_1 nos dá o coeficiente de arrasto para escoamento externo e o termo Π_2 é igual o inverso do número de Reynolds.



(CEBRASPE/PEFOCE-2012) O próximo item apresenta uma situação hipotética, seguida de uma assertiva que deve ser julgada com base nos conceitos de hidrodinâmica.

Uma esfera de diâmetro D e massa m sedimenta-se em um fluido de massa específica ρ e viscosidade dinâmica μ . Sabe-se que a aceleração da gravidade é g e que, para o estudo da velocidade terminal – U_T – dessa esfera, é conveniente reduzir o número de parâmetros do problema ao menor possível, por meio de uma análise dimensional.

Nessa situação, se forem consideradas apenas as variáveis citadas, o número de parâmetros do problema pode ser reduzido a três grupos adimensionais.

Comentário:

Prezado(a), podemos resolver essa questão pelo teorema de Pi Buckingham. Note que temos um total (n) de 6 variáveis que são:

1. diâmetro
2. massa
3. massa específica
4. viscosidade dinâmica
5. aceleração da gravidade
6. velocidade terminal

O número de dimensões primárias para a descrição dessas unidades são três, sendo elas massa (M), comprimento (L) e tempo (T). Logo, o número de grupos Π (adimensionais) será:

$$N^{\circ} \text{ grupos } \pi = N^{\circ} \text{ de variáveis} - N^{\circ} \text{ de dimensões}$$

$$N^{\circ} \text{ grupos } \pi = 6 - 3 = 3$$

Portanto, o **item** está correto.

Assim, a análise dimensional surge como uma ferramenta para reduzir o número de variáveis experimentais que aferam um determinado fenômeno físico, através de uma técnica de compactação. Ademais, a análise dimensional necessita a utilização da **semelhança dinâmica**.

7.2 - Análise por semelhança

Como o próprio nome diz a análise por semelhança, também chamada por análise por similaridade, consiste na comparação entre um modelo e um protótipo. Em outras palavras, estuda-se um modelo pequeno para então saber as consequências em protótipo maior.



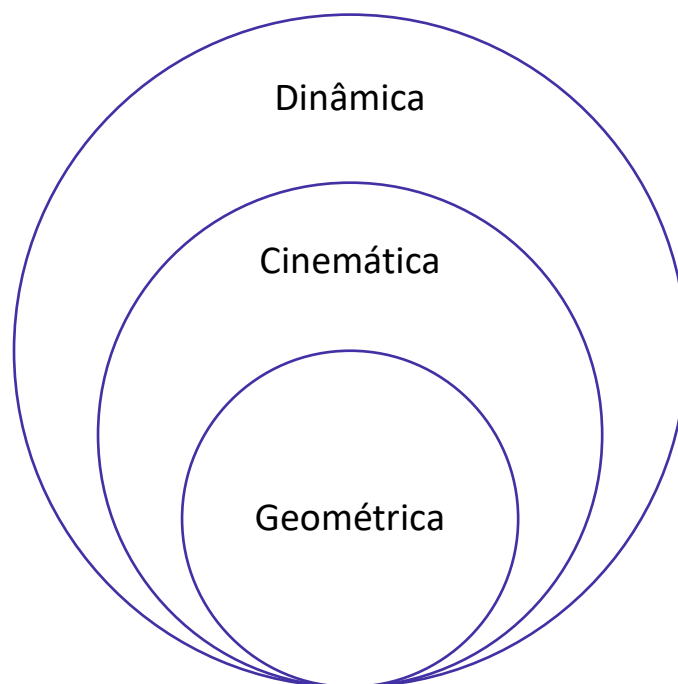
Existe basicamente três tipos de semelhanças que são:

- Geométrica
- Cinemática
- Dinâmica

A semelhança geométrica é basicamente relacionada por dimensões em escalas entre o modelo e o protótipo. Como principal exemplo temos as maquetes.

Já semelhança cinemática, inclui a semelhança geométrica e também relaciona as velocidade em pontos correspondentes entre o modelo e o protótipo.

Por fim, a semelhança dinâmica inclui as semelhanças geométrica e cinemática e também relaciona as forças em pontos correspondentes entre o modelo e o protótipo.



A **semelhança dinâmica** também é conhecida como **semelhança completa** e simplificada é o tipo de semelhança que todo pesquisador busca. a partir dela é **possível igualar os números adimensionais entre o modelo e o protótipo.**





O comportamento de dois sistemas diferentes, mas regidos pela mesma lei será idêntico se o valor dos produtos adimensionais dos dois sistemas for o mesmo.

Como exemplo para o caso de semelhança completa, temos a situação onde o número de Reynolds do modelo será igual ao número de Reynolds do protótipo.

$$Re_{modelo} = Re_{protótipo}$$

$$\frac{\rho_m V_m D_m}{\mu_m} = \frac{\rho_p V_p D_p}{\mu_p}$$

Para finalizar, como você deve saber, no estudo da mecânica dos fluidos diversos números adimensionais são utilizados para a determinação de fenômenos.

7.3 - Números Adimensionais

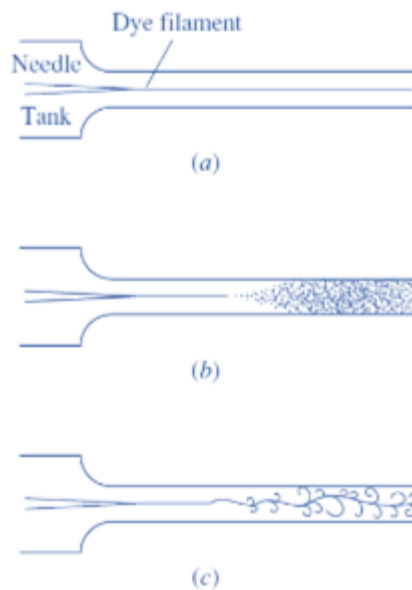
Vejamos alguns dos principais grupos adimensionais da mecânica dos fluidos.

7.3.1 - Número de Reynolds, Re

Me arrisco a dizer que é o adimensional mais importante da mecânica dos fluidos. Indica a razão entre as forças de inércia de um elemento fluido e os seus efeitos viscosos no elemento. Permite a determinação da transição entre regime laminar e o regime turbulento em todos os escoamentos.

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu}$$





(a) regime laminar

(b) regime turbulento

(c) regime turbulento em imagem instantânea.
 $Re_{cr} = 2300$ para dutos comerciais

7.3.2 - Número de Froude, Fr

O número de Froude é utilizado quando temos escoamento com superfície livres, como rios, oceanos e canais abertos. Ele indica a razão entre as forças de inércia e o peso do elemento fluido (forças gravitacionais).

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$$

7.3.3 - Número de Euler, Eu

O número de Euler é utilizado em situações em que a pressão ou sua diferença possui relevância. Indica a razão entre as forças de pressão e forças de inércia do elemento fluido. Possui efeito dominante em escoamentos próximos à cavitação.

$$Eu = \frac{\rho}{\rho V^2}$$

7.3.4 - Número de Cauchy, Ca , e de Mach, Ma

Ambos são utilizados onde a compressibilidade do fluido é relevante. Indicam a razão entre as forças de inércia e a compressibilidade.

$$Ca = \frac{\rho V^2}{E}$$

Em que E é o módulo de elasticidade do meio.

O número de Mach indica a razão entre a velocidade do escoamento e a velocidade do som (c).



$$Ma = \frac{V}{c}$$

7.3.5 - Número de Strouhal, St

Esse adimensional é utilizado para a análise de escoamentos transitórios ou com frequência de oscilação característica, ou seja, importante em aerodinâmica envolvendo vibrações ou formação periódica de vórtices. Indica a relação entre as forças de inércia em razão da transitoriedade do escoamento (aceleração local) e as forças de inércia devida a variação de velocidade de ponto a ponto do campo de escoamento (aceleração convectiva).

$$St = \frac{fL}{V}$$

Onde f é a frequência de liberação de vórtice.

7.3.6 - Número de Weber, We

Usado em casos onde os efeitos da tensão superficial são relevantes. Traduz a razão entre forças de inércia e força devida à tensão superficial que atuam em um elemento fluido.

$$We = \frac{\rho V^2 L}{\sigma}$$

Onde σ indica a tensão superficial.



(CEBRASPE/ANP-2013)Acerca de escoamento incompressível não-viscoso e de análise dimensional, julgue o item seguinte.

O número de Mach é adimensional e, para dado escoamento, depende do valor da velocidade do som no fluido escoando.

Comentário:

O **item** está correto. O número de Mach indica a razão entre a velocidade do escoamento e a velocidade do som (c).

$$Ma = \frac{V}{c}$$



Encerramos aqui o estudo dos principais adimensionais utilizados na mecânica dos fluidos para fins de prova. Também, finalizamos o estudo dos principais temas da mecânica dos fluidos exigidos em concursos. Lembre-se de sempre praticar via resolução de questões para uma melhor compreensão.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muito obrigado meu caro aluno ou minha cara aluna! Novamente agradeço sua paciência para me acompanhar por toda esta aula¹. Sei que a jornada é dura, mas saiba que cada vez que você chegar aqui, no final da aula, você está **um passo mais próximo do seu objetivo**.

Quaisquer dúvidas, sugestões ou críticas entrem em contato conosco. Estou disponível no fórum no Curso, por e-mail e, inclusive, pelo *instagram*. Aguardo você na próxima aula. Até lá!



The graphic features a portrait of Prof. Juliano de Pelegrin on the left. To his right, the text 'SIGA MINHAS REDES SOCIAIS' is displayed. Below this, three social media links are listed with their respective icons: Instagram (@profjulianodp), Telegram (https://t.me/profjulianodp), and YouTube (Prof. Juliano de Pelegrin). The background includes a stylized gear and a 3D character holding a wrench.

SIGA MINHAS REDES SOCIAIS

 @profjulianodp

 <https://t.me/profjulianodp>

 Prof. Juliano de Pelegrin

¹ **Bibliografia base utilizada nesta aula:**

The McGraw-Hill Companies, Inc. Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications 2006

John Wiley & Sons, Inc. Introduction do Fluid Mechanis, 7ª. Ed, 2009

QUESTÕES COMENTADAS

Mecânica dos Fluidos

1. (CEBRASPE/CODEVASF-2021) Com relação a mecânica dos fluidos, julgue o item a seguir.

Considere uma prensa hidráulica em equilíbrio hidrostático, consistindo em um êmbolo 1, de área A_1 e força aplicada F_1 , e, do outro lado, um êmbolo 2, de área A_2 e força aplicada F_2 . Nesse caso, se A_1 for menor que A_2 , a força F_1 será menor que a força F_2 .

Comentário:

O **item** está correto. Pelo princípio de Pascal as seguintes relações podem ser estabelecidas:

$$P_1 = P_2 \Rightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1} \Rightarrow F_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1}$$

Nesse caso, como A_1 é menor que A_2 , a razão entre essas medidas será maior que 1 e consequentemente F_2 será maior que F_1 .

2. (CEBRASPE/CODEVASF-2021) Com relação a mecânica dos fluidos, julgue o item a seguir.

Se um vaso comunicante em forma de U aberto em pressão atmosférica for preenchido por água e óleo (confinado somente em um lado do vaso), a altura de nível do lado do óleo será menor que da água.

Comentário:

O **item** está incorreto. Vamos fazer uma comparação entre ambos os líquidos utilizando uma equação muito conhecida.

$$P = \rho gh \Rightarrow h = \frac{P}{\rho g}$$

Sabemos que, como os líquidos estão em contato, a pressão em pontos de mesma altura em ambos os líquidos apresenta o mesmo valor. Sendo assim podemos utilizar a equação apresentada acima em ambos os líquidos no ponto de encontro deles. A pressão é a mesma para ambos, assim como a aceleração da gravidade, desta forma podemos reescrever a equação da seguinte forma.

$$h = \frac{1}{\rho}$$

A altura do fluido é inversamente proporcional a sua densidade. Isso significa que conforme a densidade do fluido é reduzida, é necessário maior altura da coluna de fluido para manter a pressão constante. Sabendo que o óleo apresenta menor densidade que a água, podemos afirmar que a coluna de óleo é mais alta que a de água, pois ambos apresentam a mesma pressão hidrostática.



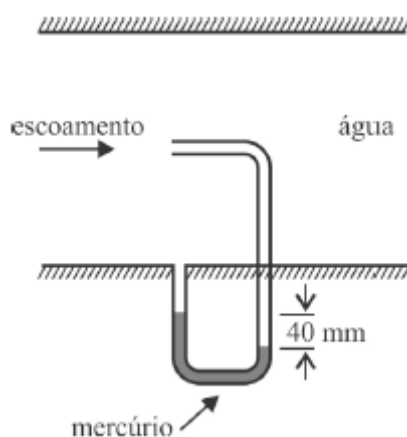
3. (CEBRASPE/CODEVASF-2021) Com relação a mecânica dos fluidos, julgue o item a seguir.

Na mecânica dos fluidos, no escoamento turbulento, as partículas do fluido tendem a percorrer trajetórias paralelas em diferentes velocidades.

Comentário:

O **item** está incorreto. O escoamento turbulento é caracterizado pelas irregularidades ou flutuações no fluxo, isto é, em um escoamento turbulento há aleatoriedade na velocidade das partículas, na pressão e na temperatura a cada ponto. As partículas em um escoamento turbulento apresentam mudanças de direção, não apresentando uma trajetória definida.

4. (CEBRASPE/SLU DF-2019)



No interior de uma tubulação, instalou-se um medidor, semelhante a um tubo de Pitot, com tomada para pressão de estagnação posicionada de forma alinhada à direção do escoamento, exatamente no centro do tubo de seção circular. A tomada da pressão estática foi posicionada na parede do tubo, na mesma seção transversal em que se posicionou a tomada de pressão de estagnação. A figura precedente mostra o esquema da montagem, em que se utilizou um manômetro de mercúrio para a medição da diferença entre a pressão de estagnação e a pressão estática.

Considerando que a densidade da água seja $\rho_{H_2O} = 1.000 \text{ kg/m}^3$, do mercúrio, $\rho_{Hg} = 13.600 \text{ kg/m}^3$, que a viscosidade cinemática da água seja $\nu_{H_2O} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ e que a aceleração gravitacional seja igual a 10 m/s^2 , julgue o item que se segue, a respeito da situação apresentada e de outros aspectos ligados a escoamento de fluidos.

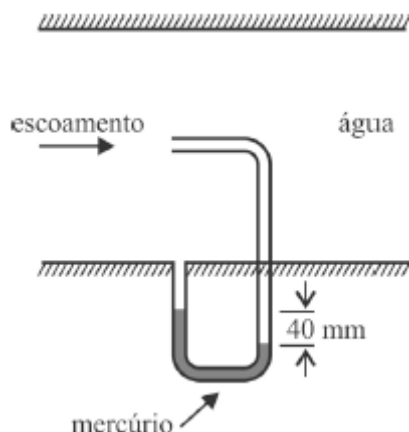
Para calcular a velocidade de escoamento de um fluido no centro de um tubo utilizando-se a equação de Bernoulli, deve-se considerar que o escoamento ao longo de uma linha de fluxo seja permanente, que o fluido seja incompressível e que, na desaceleração do escoamento ao longo da linha de fluxo de estagnação, o atrito viscoso seja desprezível.

Comentário:



O **item** está correto. Caro aluno(a), a **equação de Bernoulli**, desenvolvida por Daniel Bernoulli, nos traz uma relação aproximada entre pressão, velocidade e elevação. A **aplicação desta equação é possível quando estamos analisando escoamentos incompressíveis e em regime permanente em que, as forças de atrito resultante são desprezíveis**.

5. (CEBRASPE/SLU DF-2019)



No interior de uma tubulação, instalou-se um medidor, semelhante a um tubo de Pitot, com tomada para pressão de estagnação posicionada de forma alinhada à direção do escoamento, exatamente no centro do tubo de seção circular. A tomada da pressão estática foi posicionada na parede do tubo, na mesma seção transversal em que se posicionou a tomada de pressão de estagnação. A figura precedente mostra o esquema da montagem, em que se utilizou um manômetro de mercúrio para a medição da diferença entre a pressão de estagnação e a pressão estática.

Considerando que a densidade da água seja $\rho_{H_2O} = 1.000 \text{ kg/m}^3$, do mercúrio, $\rho_{Hg} = 13.600 \text{ kg/m}^3$, que a viscosidade cinemática da água seja $\nu_{H_2O} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ e que a aceleração gravitacional seja igual a 10 m/s^2 , julgue o item que se segue, a respeito da situação apresentada e de outros aspectos ligados a escoamento de fluidos.

Na situação apresentada, considerando-se que o escoamento seja permanente, em regime turbulento e com perfil de velocidades totalmente desenvolvido, a velocidade máxima de escoamento será inferior a 3 m/s .

Comentário:

O **item** está incorreto. Podemos utilizar a seguinte equação para determinarmos a velocidade de escoamento:

$$V = \sqrt{\frac{2(P_{estag} - P)}{\rho_{agua}}}$$

A diferença de pressão $P_{estag} - P$ é dada por 40mm de mercúrio.

$$(P_{estag} - P) = \rho_{Hg} \cdot g \cdot h = 13600 \cdot 10 \cdot 0,04 = 5440$$

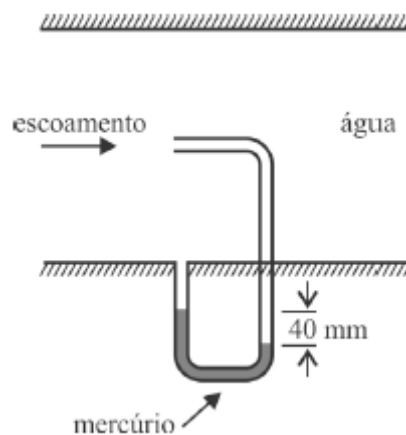


Portanto a velocidade do fluxo será:

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot (5440)}{1000}} = \sqrt{10.88} \cong 3,3 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Perceba que não seria necessário realizar o cálculo da raiz, uma vez que sabemos que $\sqrt{10.88} > 3$.

6. (CEBRASPE/SLU DF-2019)



No interior de uma tubulação, instalou-se um medidor, semelhante a um tubo de Pitot, com tomada para pressão de estagnação posicionada de forma alinhada à direção do escoamento, exatamente no centro do tubo de seção circular. A tomada da pressão estática foi posicionada na parede do tubo, na mesma seção transversal em que se posicionou a tomada de pressão de estagnação. A figura precedente mostra o esquema da montagem, em que se utilizou um manômetro de mercúrio para a medição da diferença entre a pressão de estagnação e a pressão estática.

Considerando que a densidade da água seja $\rho_{H_2O} = 1.000 \text{ kg/m}^3$, do mercúrio, $\rho_{Hg} = 13.600 \text{ kg/m}^3$, que a viscosidade cinemática da água seja $\nu_{H_2O} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ e que a aceleração gravitacional seja igual a 10 m/s^2 , julgue o item que se segue, a respeito da situação apresentada e de outros aspectos ligados a escoamento de fluidos.

Admitindo-se que, na situação apresentada, a velocidade de escoamento da água dentro do tubo cilíndrico, medida por meio de um tubo de Pitot localizado no centro do tubo, seja de 2 m/s , então, se o tubo tiver 1 m de diâmetro, o escoamento será considerado laminar.

Comentário:

O **item** está incorreto. Para encontrar o regime de escoamento do fluido devemos calcular o número de Reynolds.

$$Re = \rho \frac{\vec{V}D}{\mu} = 1000 \cdot \frac{2 \cdot 1}{1 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^9$$



$Re \leq 2300$	Escoamento Laminar
$2300 \leq Re \leq 4000$	Escoamento de Transição
$Re \geq 4000$	Escoamento Turbulento

O escoamento é turbulento.

7. (CEBRASPE/EMAP-2018) Acerca do efeito das forças em fluidos, julgue o item que se segue.

Considere que dois diferentes líquidos de densidades ρ_1 e ρ_2 sejam colocados em dois recipientes cúbicos idênticos e que as forças hidrostáticas nas faces verticais dos recipientes sejam respectivamente iguais a F_1 e F_2 .

Nessa situação, se $\rho_1 > \rho_2$, é correto afirmar que $F_1 > F_2$.

Comentário:

O **item** está correto.

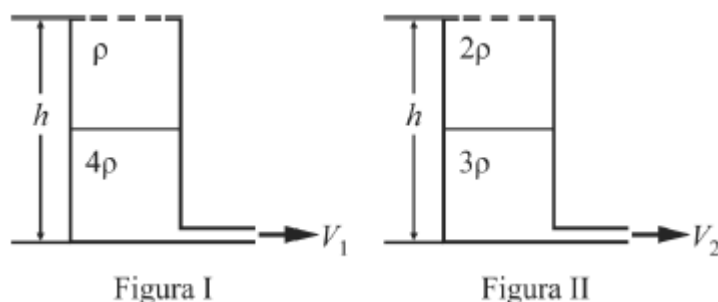
$$F = P \cdot A \Rightarrow F = \left(\rho \cdot g \cdot \frac{h}{2}\right) \cdot A$$

Para os dois casos os valores de gravidade (g), altura (h) e área (A) são iguais. Sendo assim, apenas a densidade do fluido fará diferença na força exercida na parede. Portanto quanto maior for a densidade do fluido, maior será a força na parede do recipiente.

8. (CEBRASPE/EMAP-2018) Acerca do efeito das forças em fluidos, julgue o item que se segue.

Situação hipotética: A figura I mostra um tanque de altura h , que contém, na sua metade inferior, um líquido de densidade 4ρ e, na metade superior, um líquido de densidade ρ . Na figura II, outro tanque idêntico e com a mesma altura h apresenta, na metade inferior, um líquido de densidade 3ρ ; e, na metade superior, um líquido com densidade 2ρ .

Assertiva: Considerando-se que, na base de ambos os tanques, as aberturas sejam idênticas e que os diâmetros das aberturas sejam desprezíveis, quando comparados à altura da coluna de líquido, é correto afirmar que as velocidades instantâneas de descarga V_1 e V_2 são iguais.



Comentário:



O **item** está correto. Como as aberturas de saída são idênticas, o fator que determinará a velocidade de descarga do fluido é a pressão, por isso vamos encontrar qual é a pressão em cada tanque na altura do tubo de saída.

Tanque 1:

$$P_1 = \rho gh$$

$$P_1 = P_{L1} + P_{L2} \Rightarrow P_1 = \rho g \frac{h}{2} + 4\rho g \frac{h}{2}$$

$$P_1 = \frac{5}{2} \rho gh$$

Tanque 1:

$$P_2 = \rho gh$$

$$P_2 = P_{L1} + P_{L2} \Rightarrow P_2 = 2\rho g \frac{h}{2} + 3\rho g \frac{h}{2}$$

$$P_2 = \frac{5}{2} \rho gh$$

Como as pressões são iguais em ambos os tanques, podemos afirmar que a velocidade de descarga do fluido vai ser igual para ambos.

9. (CEBRASPE/EMAP-2018) Acerca do efeito das forças em fluidos, julgue o item que se segue.

Considere que dois dutos de diâmetros d_1 e d_2 convirjam para formar um duto de diâmetro d . Se o escoamento nos dois dutos se dá a velocidades v_1 e v_2 , é correto afirmar que a velocidade v no terceiro duto será expressa pela relação: $v = \frac{d_1 v_1 + d_2 v_2}{d}$

Comentário:

O **item** está incorreto. Vamos começar analisando as vazões e a partir delas vamos determinar as velocidades.

$$Q = v \cdot A$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$v \cdot A = v_1 \cdot A_1 + v_2 \cdot A_2$$

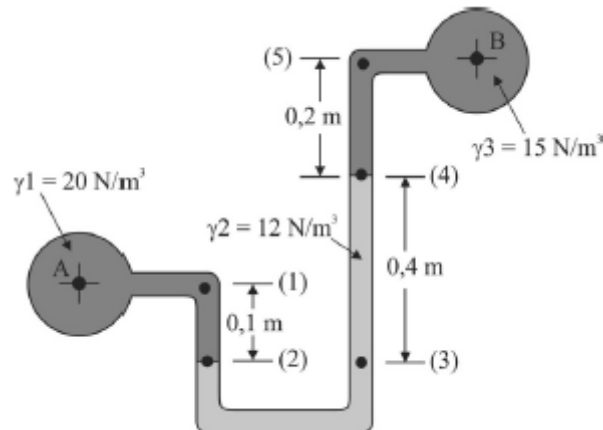
$$v \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot d^2\right) = v_1 \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot d_1^2\right) + v_2 \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot d_2^2\right)$$

$$v \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 = (v_1 \cdot d_1^2 + v_2 \cdot d_2^2) \cdot \frac{\pi}{4}$$



$$v = \frac{v_1 \cdot d_1^2 + v_2 \cdot d_2^2}{d^2}$$

10. (CEBRASPE/IFF-2018)



Considerando-se os dados apresentados nessa figura, em que γ é o peso específico, é correto afirmar que a diferença de pressão entre A e B, em Pa, é igual a

- a) 5,8.
- b) 6,4.
- c) 7,8.
- d) 10,4.
- e) 12,6.

Comentário:

A **alternativa A** está correta e é o gabarito da questão. Para realizar a verificação da diferença de pressão entre os pontos A e B, vamos partir do ponto B.

$$P_B + 0,2 \cdot 15 \frac{N}{m^3} + 0,4 \cdot 12 \frac{N}{m^3} - 0,1 \cdot 20 \frac{N}{m^3} = P_A$$

$$P_A - P_B = 3 + 4,8 - 2 = 5,8$$

11. (CEBRASPE/FUB-2015) Em relação aos fenômenos de transporte, que tratam da quantidade de movimento de fluidos em tubulações, julgue o item seguinte.

O diagrama de Moody é uma representação gráfica linear do fator de fricção em função do número de Reynolds e da rugosidade relativa de uma tubulação.

Comentário:



O **item** está incorreto. O diagrama de Moody é a representação gráfica em escala **duplamente logarítmica** do fator de atrito em função do número de Reynolds e a rugosidade relativa de uma tubulação.

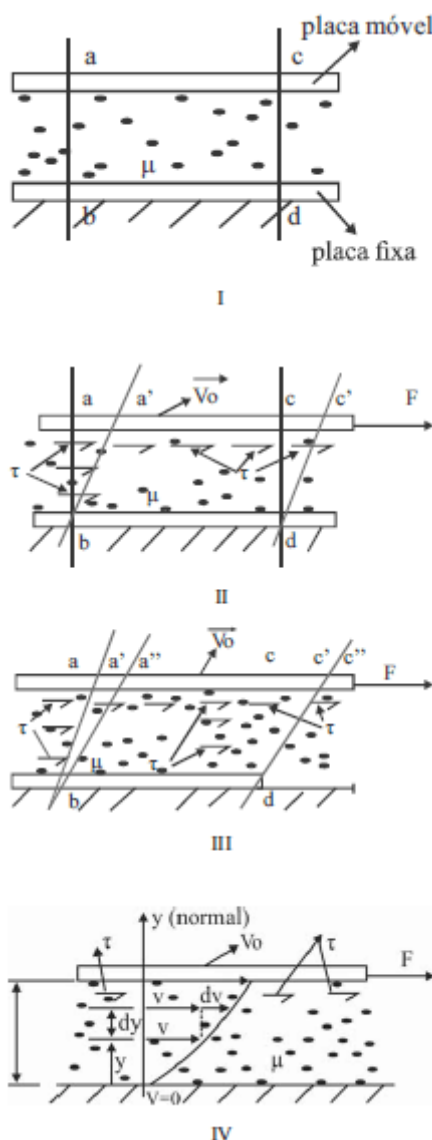
12. (CEBRASPE/FUB-2015) Em relação aos fenômenos de transporte, que tratam da quantidade de movimento de fluidos em tubulações, julgue o item seguinte.

Fluidos newtonianos, os mais e os menos viscosos, são caracterizados por apresentarem viscosidade variante com o tempo e com a força aplicada.

Comentário:

O **item** está incorreto. Fluidos newtonianos não variam sua viscosidade com o tempo ou taxas de cisalhamento. Os fluidos que apresentam variação de viscosidade com o tempo são os **não-newtonianos** e essa característica é chamada tixotropia.

13. (CEBRASPE/MEC-2015)



Uma substância é colocada entre duas placas paralelas bem próximas e bem grandes, sendo a placa inferior fixa e a superior móvel. Aplica-se uma força tangencial F na placa superior que se movimenta com velocidade constante V_0 , conforme ilustrado nas figuras I, II, III e IV. Nesse contexto e a respeito da mecânica dos fluidos, julgue o item subsequente.

As quatro grandezas básicas ou categorias fundamentais da análise dimensional são as unidades de (massa $[M]$; comprimento $[L]$; tempo $[T]$ e temperatura $[\theta]$) cujas dimensões para viscosidade cinemática (ν) são L^2T^{-1} .

Comentário:

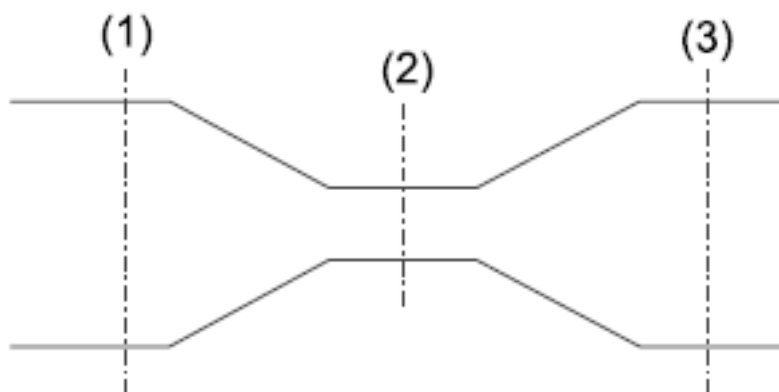
O **item** está correto. No S.I. a viscosidade cinemática tem unidade $[m^2/s]$, ou seja a dimensão de comprimento ao quadrado (L^2) sobre a dimensão de tempo (T^{-1}).

14. (CEBRASPE/SUFRAMA-2014) Com relação à mecânica dos fluidos, julgue o item que se segue.

O tubo Venturi é um medidor de vazão que se utiliza do princípio de conservação de massa e da equação de Bernoulli para calcular a vazão de uma tubulação, por meio de um estrangulamento denominado garganta. Nesse processo, a área da seção transversal será reduzida, o fluido acelerado e a pressão no estrangulamento do tubo reduzida.

Comentário:

O **item** está correto. Veja abaixo um esquema de um tubo de Venturi.



Os pontos 1, 2 e 3, indicam os pontos de tomada de pressão. Na seção com área menor a velocidade do escoamento será maior, via princípio de conservação da massa e, assim, a pressão será menor. Portanto, onde a velocidade for menor (pontos 1 e 3), a pressão será maior.

15. (CEBRASPE/SUFRAMA-2014) Com relação à mecânica dos fluidos, julgue o item que se segue.

Considere que um fluido seja bombeado por um duto em baixa velocidade e baixo número de Reynolds, por meio de uma bomba hidráulica inserida na entrada no duto, e que a saída do duto esteja mais alta que a entrada. Nessa situação, se o escoamento for laminar, não haverá perda de carga por atrito.

Comentário:



O **item** está incorreto. Mesmo um escoamento laminar apresenta perdas de carga por atrito devido à viscosidade do fluido.

A **queda de pressão devido aos efeitos viscosos**, que indica uma perda irreversível de pressão pode ser expressa por:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{32 \cdot \mu \cdot L \cdot V_{méd}}{D^2}$$

Uma outra maneira para representarmos a **perda de pressão** é através da seguinte equação:

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho V_{méd}^2}{2}$$

A variável f corresponde ao fator de atrito de Darcy-Weisbach e é dado pela seguinte equação:

$$f = \frac{64\mu}{\rho D V_{méd}} = \frac{64}{Re}$$

16. (CEBRASPE/SUFRAMA-2014) Com relação à mecânica dos fluidos, julgue o item que se segue.

Suponha que uma força de 100 N empurra para baixo um dos êmbolos de um macaco hidráulico com área igual a 10m² e, com isso, pressiona um líquido incompressível confinado que transmite o estímulo para o outro êmbolo do sistema. Se o segundo êmbolo tiver uma área dez vezes menor que a do primeiro, então a força aplicada no primeiro êmbolo será capaz de sustentar um peso de até 10 N no segundo êmbolo.

Comentário:

O **item** está correto. Sabemos pelo princípio de pascal que:

$$F_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1}$$

$$F_2 = 100 \cdot \frac{1}{10} = 10N$$

17. (CEBRASPE/PF-2014) No que se refere a conceitos e princípios da hidrostática, julgue o item a seguir.

Considere que duas placas estejam separadas por uma camada de 5 mm de óleo com densidade relativa 0,80 e viscosidade cinemática 1,25×10⁻⁴ m²/s. Nesse caso, se uma placa está estacionária e a outra se move a uma velocidade de 4 m/s, então a tensão cisalhante média no óleo é igual a 80 Pa.

Comentário:

O **item** está correto.

$$\tau = \mu \frac{du}{dx} = \mu \frac{\Delta u}{\Delta x} = \delta \cdot 1000 \cdot v \frac{\Delta u}{\Delta x}$$



$$\tau = 0,80 \cdot 1000 \cdot (1,25 \cdot 10^{-4}) \cdot \frac{4}{0,005} = 80 \text{ Pa}$$

18. (CEBRASPE/PF-2014) No que se refere a conceitos e princípios da hidrostática, julgue o item a seguir.

Considere que, em um dia em que a leitura barométrica seja 750 mmHg, o manômetro de um compressor de ar indique que a pressão no reservatório (fechado) é de 828 kPa. Nessa situação, considerando a densidade relativa $P_{Hg} = 13,6$ e assumindo a aceleração da gravidade 10 m/s^2 , a pressão absoluta do tanque será inferior a 900 kPa.

Comentário:

O **item** está incorreto. Vamos calcular primeiramente a pressão atmosférica em kPa.

$$P = \rho gh = 13,6 \cdot 10 \cdot 0,75 = 102 \text{ kPa}$$

A questão nos pede o valor de pressão absoluta que é dado pela pressão manométrica somado ao valor de pressão atmosférica.

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{man}$$

$$P_{abs} = 102 \text{ kPa} + 828 \text{ kPa} = 930 \text{ kPa}$$

19. (CEBRASPE/PF-2014) A respeito do escoamento em dutos de seção circular, julgue o item seguinte.

Considere que um navio de 200 m de comprimento, projetado para se deslocar à velocidade de cruzeiro de 10 m/s, deve ser testado em um tanque d'água, rebocando-se um modelo de 4,5 m de comprimento. Nessa situação, para que as condições de deslocamento do navio na água sejam perfeitamente simuladas, o modelo deve ser rebocado à velocidade de 1,5 m/s.

Comentário:

O **item** está correto. Vamos utilizar o número de Froude, ele indica a razão entre as forças de inércia e o peso do elemento fluido (forças gravitacionais).

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$$

$$Fr_m = Fr_n$$

$$\frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}} = \frac{V_n}{\sqrt{g \cdot L_n}}$$

$$V_m = \frac{V_n}{\sqrt{g \cdot L_n}} \cdot \sqrt{g \cdot L_m} = V_n \cdot \frac{\sqrt{L_m}}{\sqrt{L_n}}$$



$$V_m = 10 \cdot \frac{\sqrt{4,5}}{\sqrt{200}} = 1,5 \frac{m}{s}$$

20. (CEBRASPE/ANP-2013) Acerca de escoamento incompressível não-viscoso e de análise dimensional, julgue o item seguinte.

O raio hidráulico é a relação entre a área transversal do escoamento do fluido e a seção de área.

Comentário:

O **item** está incorreto. O raio hidráulico é um parâmetro importante no dimensionamento de obras hidráulicas. Através dele é possível estimar as dimensões de tubos e canais de seção não circular. O raio hidráulico é dado pela divisão da área molhada pelo perímetro molhado.

$$R_H = \frac{A}{P}$$

21. (CEBRASPE/EMBASA-2010) As máquinas hidráulicas são um grupo particular de turbomáquinas nas quais a transferência de energia se passa entre um fluido em movimento e um ou mais conjuntos de pás rotativas. A energia, sob a forma de trabalho, é extraída ou transferida para o fluido pela ação dinâmica das pás. A partir dessa definição geral, julgue o próximo item.

No estudo de máquinas hidráulicas, entre as relações adimensionais consideradas para fins de projeto e análise técnica, a relação $E = \pi N^2 D^2$, em que π é denominado coeficiente de energia de pressão, associa a energia específica de pressão E de um fluido (dimensionalmente dada por $[L]^2/[T]^2$) com a frequência de rotação N (dimensionalmente dada por $[T]^{-1}$) do rotor da máquina e com uma característica dimensional desta, chamada genericamente de D (dimensionalmente dada por $[L]$). Considerando exclusivamente o aspecto de análise dimensional dessa equação, desprezadas as perdas inerentes ao sistema, é correto reescrever a relação em questão como $gH = \pi N^2 D^2$, em que g é a aceleração da gravidade e H é a carga hidráulica de pressão relativa, dada em unidade de comprimento $[L]$, da superfície do reservatório até a entrada do rotor da máquina.

Comentário:

O **item** está correto. Vamos fazer a análise dimensional de cada variável e após isso vamos compará-las para comprovar se a afirmativa está correta.

$$\pi = \text{adimensional}$$

$$N^2 = [T]^{-2}$$

$$D^2 = [L]^2$$

$$\pi N^2 D^2 = [L]^2/[T]^2$$

$$E = [L]^2/[T]^2$$



$$g^*H = ([L]/[T]^2) \cdot ([L]) = [L]^2/[T]^2$$

$$E = g^*H = \pi N^2 D^2 = [L]^2/[T]^2$$

22. (CEBRASPE/TJ CE-2014) Considere que um tubo de 3,2 m de diâmetro, em que fluem 1.000 m³/s de água, se divida em outros dois tubos, cada um com 1,0 m e 2,0 m de diâmetro. Nessa hipótese, assumindo-se que 3,14 seja valor aproximado para π e que a velocidade da água no tubo de 1,0 m seja igual a 100,0 m/s, a velocidade da água no tubo de 2,0 m de diâmetro será

- a) inferior a 295 m/s.
- b) inferior a 200 m/s.
- c) superior a 380 m/s.
- d) superior a 400 m/s.
- e) inferior a 121 m/s.

Comentário:

A **alternativa A** está correta e é o gabarito da questão.

$$Q = v \cdot A$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$1000 = v_1 \cdot A_1 + v_2 \cdot A_2$$

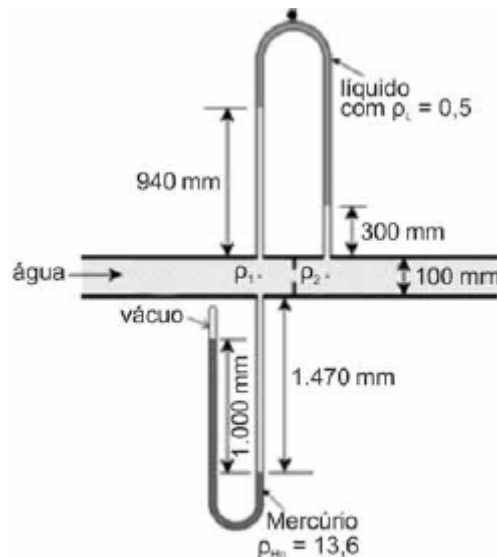
$$1000 = v_1 \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot d_1^2\right) + v_2 \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot d_2^2\right)$$

$$1000 = 100 \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot 1^2\right) + v_2 \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot 2^2\right)$$

$$v_2 = \frac{1000 - 100 \cdot (1^2)}{(2^2)} = 225 \frac{m}{s}$$

23. (CEBRASPE-2013)





A figura acima mostra o esquema para medição da vazão em uma instalação de bombeamento d'água com placa de orifício. Um manômetro de tubo em U com mercúrio ($\rho_{Hg} = 13,6$) está conectado à parte inferior da tubulação. Outro manômetro de tubo em U invertido, com líquido de densidade relativa $\rho_L = 0,5$, está montado em um ponto diretamente acima do primeiro manômetro. Com base nessas informações e na figura acima, julgue o item seguinte.

A diferença de pressão $p_1 - p_2$ é maior que 1 m de coluna d'água.

Comentário:

O **item** está correto.

$$P_{Hg} = \rho \cdot g \cdot h = 13,6 \cdot 10 \cdot 1 = 136 \text{ kPa}$$

$$P_L = \rho \cdot g \cdot h = 0,5 \cdot 10 \cdot (0,940 - 0,300) = 3,2 \text{ kPa}$$

$$P_{Hg} - P_L = 136 - 3,2 = 132,8 \text{ kPa}$$

$$P_{agua} = \rho \cdot g \cdot h \Rightarrow 132,8 = 1 \cdot 10 \cdot h \Rightarrow h = 13,28 \text{ m}$$

24. (CEBRASPE-2013) Com relação à hidrodinâmica, julgue o item que se segue.

Em um escoamento estacionário e incompressível em que a distribuição de velocidades é dada por $V = 6xi - 6yj + 0k$, a tensão cisalhante τ_{xy} em qualquer ponto (x, y, z) é nula.

Comentário:

O **item** está correto. A tensão de cisalhamento é diretamente proporcional a $\frac{dv_x}{dy}$, portanto é nula, visto que o escoamento é contínuo e não possui taxa de variação de velocidade.



Outras Bancas

25. (CESGRANRIO/PETROBRAS/2018) Um gás escoa em regime permanente por uma tubulação de diâmetro D quando passa por uma redução cônica e passa a escoar por uma tubulação de diâmetro $D/2$. A densidade do gás na tubulação maior é de 2 kg/m^3 , enquanto sua velocidade é de 20 m/s . Por outro lado, a velocidade do gás após a redução passa a ser de 16 m/s .

Para as condições de escoamento estabelecidas, estima-se que a densidade do gás, em kg/m^3 , na seção menor, vale

- a) 2
- b) 4
- c) 8
- d) 10
- e) 16

Comentário:

Pelo princípio de conservação da massa temos que a vazão mássica na seção maior será igual a vazão mássica na seção com diâmetro menor. Assim temos que:

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A \quad \Rightarrow \quad \dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot A_2$$

Como sabemos a área de uma seção tubular é dada por $A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$. Portanto, as áreas das seções com diâmetro D e $D/2$ serão:

$$A_1 = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \frac{\pi D^2}{4} \quad \Rightarrow \quad A_2 = \pi \left(\frac{D/2}{2}\right)^2 = \pi \left(\frac{D}{4}\right)^2 = \pi \frac{D^2}{16}$$

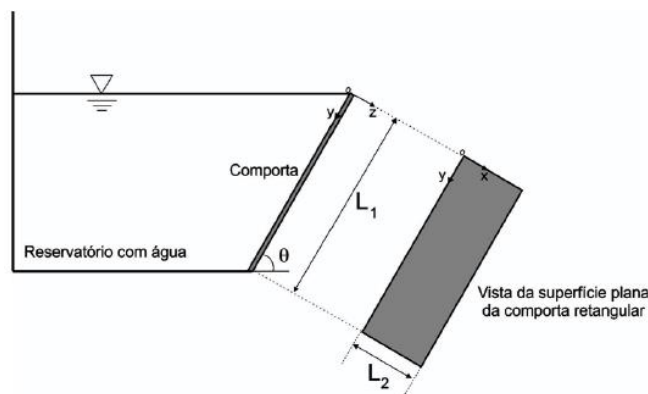
Substituindo os valores conhecidos na equação de conservação da massa temos que:

$$2 \cdot 20 \cdot \frac{\pi D^2}{4} = \rho_2 \cdot 16 \cdot \pi \frac{D^2}{16} \quad \Rightarrow \quad \rho_2 = 10 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Logo, a **alternativa D** está CORRETA e é o gabarito da questão.

26. (CESGRANRIO/TRANSPETRO/2018) A Figura abaixo ilustra uma comporta retangular de comprimento L_1 e largura L_2 (perpendicular ao plano do papel).





A expressão do módulo da força resultante, F_R , com que a água, com peso específico γ , atua sobre a comporta, e a coordenada y do ponto de aplicação dessa força, em relação à superfície livre do fluido, y_R , são, respectivamente:

- a) $F_R = \gamma \left[\frac{L_1}{2} \cdot \text{sen } \theta \right] \cdot (L_1 L_2)$ e $y_R = \frac{2}{3} L_1$
- b) $F_R = \gamma \left[\frac{L_1}{2} \cdot \text{sen } \theta \right] \cdot (L_1 L_2)$ e $y_R = \frac{1}{2} L_1$
- c) $F_R = \gamma \left[\frac{L_1}{2} \right] \cdot (L_1 L_2)$ e $y_R = \frac{2}{3} L_1 \cdot \text{sen } \theta$
- d) $F_R = \gamma \left[\frac{L_1}{2} \right] \cdot (L_1 L_2)$ e $y_R = \frac{2}{3} L_1$
- e) $F_R = \gamma \left[\frac{L_1}{2} \cdot \text{sen } \theta \right] \cdot (L_1 L_2)$ e $y_R = \frac{2}{3} L_1 \text{sen } \theta$

Comentário:

Está é uma questão um tanto complexa que nos exige o conhecimento dos conceitos de força hidrostática em superfícies submersas. A partir destes conceitos sabemos que a força resultante pode ser calculada por $F_R = P_c \cdot A$ em que P_c é a pressão manométrica atuante no centroide da área da placa retangular expressa por $P_c = \gamma \cdot h_c$.

Adotando a superfície do líquido como referência e baseado no sistema de eixos adotados pela questão temos que:

$$h_c = y_c \text{sen } \theta$$

Como estamos tratando de um retângulo a coordenada y_c do centroide da área será:

$$y_c = \frac{L_1}{2}$$

Portanto, substituído a relação acima na equação da força resultante obtemos:

$$F_R = P_c \cdot A \Rightarrow F_R = \gamma \cdot h_c \cdot A \Rightarrow F_R = \gamma \left[\frac{L_1}{2} \cdot \text{sen}(\theta) \right] \cdot (L_1 \cdot L_2)$$



A coordenada y_R onde a força resultante atua é situada em um ponto abaixo de y_c e é calculada por:

$$y_R = y_c + \frac{I_{x'}}{A \cdot y_c}$$

O momento de inércia de uma área retangular em relação ao eixo x com origem situada no ponto centroide da área é dado por

$$I_{x'} = \frac{bh^3}{12}$$

Sabendo-se que a base (b) da comporta é L_2 e a sua altura é L_1 obtemos:

$$y_R = y_c + \frac{I_{x'}}{A \cdot y_c} = \frac{L_1}{2} + \frac{\frac{L_2 L_1^3}{12}}{(L_1 L_2) \frac{L_1}{2}} \Rightarrow y_R = \frac{L_1}{2} + \frac{L_1}{6} = \frac{2}{3} L_1$$

Portanto, a **alternativa A** está CORRETA e é o gabarito da questão.

27. (CESGRANRIO/PETROBRAS/2018) Os princípios da hidrostática ou estática dos fluidos envolvem o estudo dos fluidos em repouso e das forças sobre objetos submersos.

Nesse estudo, NÃO se constata que a(o)

- a) diferença de pressões entre dois pontos de uma massa líquida em equilíbrio estático é igual à diferença de profundidade multiplicada pelo peso específico do fluido.
- b) altura de um líquido incompressível em equilíbrio estático preenchendo diversos vasos que se comunicam independe da forma dos mesmos, obedecido o princípio dos vasos comunicantes.
- c) pressão manométrica é medida a partir da pressão absoluta e seu valor tanto pode ser negativo quanto positivo.
- d) altura metacêntrica é a medida de estabilidade da embarcação
- e) empuxo será tanto maior quanto mais denso for o fluido.

Comentário:

A **alternativa A** está CORRETA, pois a pressão varia de acordo com o aumento da profundidade, seguindo a seguinte expressão matemática $\Delta P = \rho gh = \gamma \cdot h$. Onde γ é o peso específico do fluido e h a profundidade.

A **alternativa B** está CORRETA. Pelo princípio dos vasos comunicantes temos que a pressão em pontos com a mesma altura preenchidos com o mesmo fluido é igual independentemente do formato dos vasos.



A **alternativa C** está INCORRETA e é o gabarito da questão. A pressão manométrica é medida pela diferença entre a pressão absoluta e a pressão atmosférica. A pressão manométrica pode possuir valores positivos ou negativos.

A **alternativa D** está CORRETA. A altura metacêntrica GM, é a distância entre o CG e o ponto de intersecção entre as linhas de ação da força de flutuação por meio do corpo antes e após a rotação. Se a altura metacêntrica for positiva o corpo é estável e se for negativa o corpo é instável, em outras palavras, ela mede a estabilidade da embarcação.

A **alternativa E** está CORRETA. A força de empuxo é calculada pela seguinte expressão: $F_B = \rho_f \cdot g \cdot V$, ou seja, quanto maior a densidade ρ_f do fluido maior será a força de empuxo.

28. (CESGRANRIO/PETROBRAS/2018) Um balão esférico de ar quente está sendo utilizado para elevar um equipamento de massa m para análise de poluentes na atmosfera de uma região próxima à uma refinaria de petróleo.

Dados:

- $m = 2 \text{ kg}$;
- massa específica do ar fora do balão = $1,250 \text{ kg/m}^3$;
- massa específica do ar quente = $1,050 \text{ kg/m}^3$;
- aceleração da gravidade local = 10 m/s^2 .

Assumindo o ar como um gás ideal, qual é o volume aproximado do balão, em m^3 , para que haja a decolagem?

- a) 10
- b) 12
- c) 15
- d) 20
- e) 24

Comentário:

A partir da equação de empuxo podemos determinar o volume aproximado do balão para a decolagem. Onde:

$$F_B = \rho_f \cdot g \cdot V$$

Neste caso teremos que aplicar também somatório de forças em Y para determinarmos as forças a qual o empuxo gerado pelo balão deverá superar para que ocorra a decolagem. Sendo que teremos:



$$\sum F_y = 0 \Rightarrow F_B - W_{carga} - W_{ar quente} = 0$$

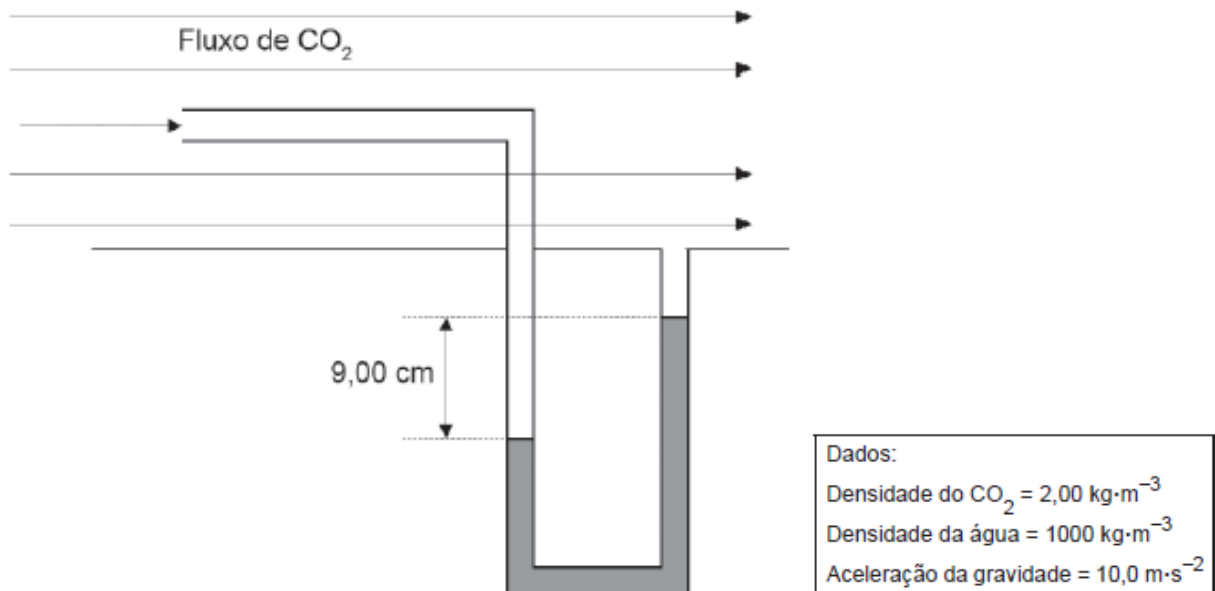
Nota-se que teremos a peso da carga e o peso do ar quente atuando para baixo (sinal negativo). Realizando as substituições temos que:

$$\rho_{ar} \cdot g \cdot V - m \cdot g - \rho_{ar quente} \cdot g \cdot V = 0$$

$$1,25 \cdot 10 \cdot V - 2 \cdot 10 - 1,05 \cdot 10 \cdot V = 0 \Rightarrow V = \frac{20}{2} = 10 [m^3]$$

Logo, a **alternativa A** está CORRETA e é o gabarito da questão.

29. (CESGRANRIO/PETROBRAS-2018) A Figura abaixo mostra o esquema de um instrumento utilizado para medir a velocidade do fluxo de CO₂. Ele é composto por um tubo interno, com um pequeno orifício, posicionado na mesma direção do fluxo do gás. O tubo interno é conectado a uma das extremidades de um manômetro, e a outra extremidade fica perpendicular ao fluxo de gás.



Se o fluido utilizado no manômetro é água, a velocidade do fluxo de CO₂ vale, aproximadamente, em m.s⁻¹,

- a) 10,0
- b) 20,0
- c) 30,0
- d) 60,0
- e) 90,0



Comentário:

Nesta questão temos ilustrada a utilização de um tubo de Pitot. Se o escoamento for em regime permanente, incompressível, ao longo de uma linha de corrente e houver desaceleração sem atrito ao longo da linha de corrente de estagnação podemos calcular a velocidade do fluxo pela seguinte equação, proveniente da equação de Bernoulli:

$$V = \sqrt{\frac{2(P_{estag} - P)}{\rho}}$$

A diferença de pressão ($P_{estag} - P$) é dada por 9 cm de água uma vez que este é o fluido utilizado no manômetro assim temos que:

$$V = \sqrt{\frac{2(P_{estag} - P)}{\rho}} = \sqrt{\frac{(2 \cdot \rho_{\text{água}} \cdot g \cdot h)}{\rho_{CO_2}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 0,09}{2}} = \sqrt{900} = 30 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Portanto, a **alternativa C** está CORRETA e é o gabarito da questão.

30. (CESGRANRIO/PETROBRAS-2018) Em um sistema de sopro, o ar escoa em regime permanente e com baixa velocidade através de um bocal com áreas de entrada e saída iguais a 0,2 m² e 0,04 m², respectivamente.

Assumindo que a velocidade do ar na saída do bocal seja igual a 25 m/s, qual deve ser a velocidade do ar, em m/s, na entrada do bocal?

- a) 1
- b) 5
- c) 10
- d) 15
- e) 20

Comentário:

Pelo princípio de conservação da massa temos que a vazão mássica na seção de entrada será igual a vazão mássica na seção de saída com diâmetro menor. Assim temos que:

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A \Rightarrow \dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot A_2$$

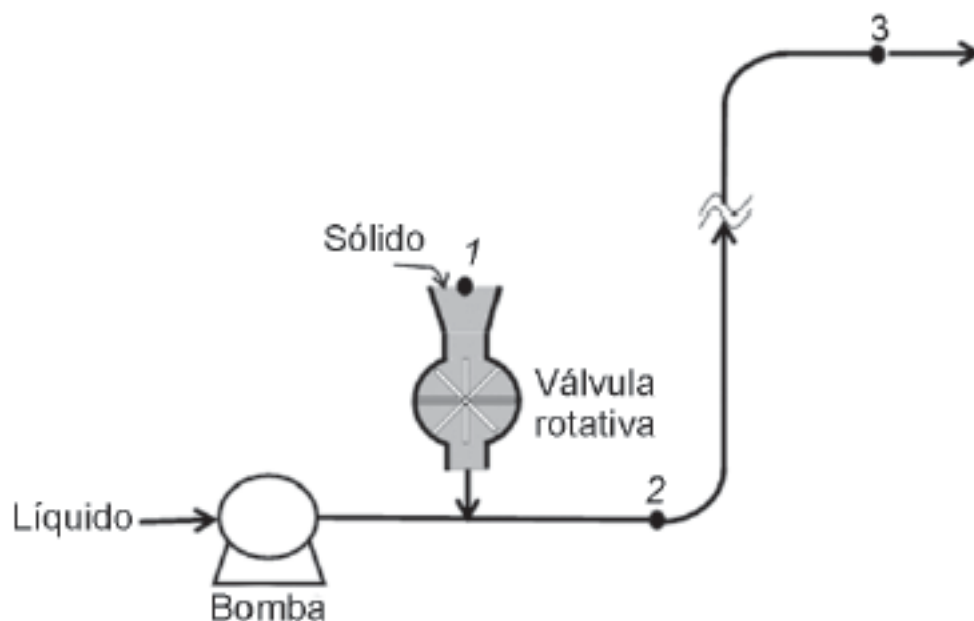


Substituindo os valores conhecidos na equação de conservação da massa temos que:

$$V_1 \cdot 0,2 = 0,04 \cdot 25 \Rightarrow V_1 = 5 \text{ m/s}$$

Portanto, a **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão.

31. (CESGRANRIO/PETROBRAS-2017) Um líquido é empregado para o transporte de sólidos conforme o sistema representado na Figura abaixo.



Os pontos 1 e 2 encontram-se praticamente na mesma altura, enquanto o ponto 3 está 5 metros acima, e não há variação do diâmetro do duto ou mudança de fase.

A análise do sistema permite concluir que a

- a) soma das energias cinética e potencial do sólido é a mesma nos pontos 1 e 2.
- b) soma das energias cinética e potencial do sólido no ponto 3 é maior que no ponto 2.
- c) soma das energias cinética e potencial do sólido no ponto 2 é maior ou igual à do ponto 3.
- d) energia cinética do sólido no ponto 2 é igual à energia potencial do sólido no ponto 3.
- e) energia cinética do sólido no ponto 3 é desprezível.

Comentário:

Analisando o sistema acima conseguimos notar que entre os pontos 1, 2 e 3 temos variação de energia potencial, pois eles não estão na mesma altura. Além disso, desconsiderando variação de diâmetro do duto e mudança de fase a energia cinética pode ser considerada como igual nos três pontos, ou seja, não há variação de velocidade de escoamento. Agora vamos analisar cada uma das alternativas.



A **alternativa A** está incorreta, pois a energia potencial nos pontos 1 e 2 são diferentes devido ao fato de eles não estarem na mesma altura.

A **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão. Está correta, pois quanto maior a altura maior será a energia potencial. Desta forma, no ponto 3 a soma entre energia cinética e potencial será maior que no ponto 2.

A **alternativa C** está incorreta, devido ao fato de que o ponto 2 encontra-se em um ponto com menor elevação que o ponto 3.

A **alternativa D** está incorreta. A energia cinética do sólido no ponto 2 é igual a energia cinética do sólido no ponto 3. As energias potenciais são diferentes.

A **alternativa E** está incorreta. Não podemos desconsiderar a energia cinética do sólido no ponto três.

32. (CESGRANRIO/PETROBRAS-2017) O tipo de escoamento que tem como característica o fato de as partículas apresentarem um movimento aleatório macroscópico, isto é, a velocidade das partículas apresenta componentes transversais ao movimento geral do conjunto do fluido, é o escoamento

- a) compressível
- b) incompressível
- c) laminar
- d) turbulento
- e) viscoso

Comentário:

As **alternativas A e B** estão incorretas. Uma maneira de classificação para escoamentos é em compressível e incompressível e isto depende do nível de variação da densidade do fluido durante o escoamento. Quando não ocorre variação da massa específica do fluido, ou seja, ela permanecer constante em todos os lugares ocorre um escoamento incompressível.

Como a densidade dos líquidos são basicamente constantes temos que os escoamentos que envolvam líquidos são incompressíveis. Os gases, por sua vez, são altamente compressíveis então podem apresentar escoamentos compressíveis.

A **alternativa C** está incorreta. Tecnicamente falando o escoamento laminar ocorre de maneira em que as partículas apresentam movimento em camadas lisas, ou lâminas.

A **alternativa D** está CORRETA e é o gabarito da questão. No escoamento turbulento ocorre uma rápida mistura entre as partículas do fluido enquanto estas se movimentam por causa das flutuações aleatórias no campo tridimensional de velocidades.



A **alternativa E** está incorreta. Temos que os escoamentos em que os efeitos causados pelo atrito possuem grau significativo são denominados escoamentos viscosos. Em contrapartida em grande parte dos escoamentos, onde busca-se uma análise simplificada, os termos viscosos são desprezados caracterizando, portanto, um escoamento não viscoso ou invíscido.

33. (CESGRANRIO/PETROBRAS-2014) Um mergulhador de 1,80 m de altura encontra-se trabalhando em alto mar, na posição horizontal, numa profundidade de 42 m.

Dados

$$g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 1040 \text{ kg/m}^3$$

$$1 \text{ Pa} \approx 9,9 \cdot 10^{-6} \text{ atm}$$

Se a pressão atmosférica na superfície do mar é de 100 kPa, a pressão, em atm, exercida sobre o corpo do mergulhador é, aproximadamente, igual a

- a) 3,5
- b) 4,1
- c) 4,5
- d) 5,2
- e) 6,3

Comentário:

Para a resolução da questão devemos somar a pressão hidrostática causada pela água com a pressão atmosférica a nível do mar que é de 1 atm.

Assim, temos que:

$$P_{\text{total}} = P_{\text{atm}} + P_h$$

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h = 1040 \cdot 9,8 \cdot 42 = 428064 \text{ Pa}$$

Convertendo a pressão de Pascal para atm obtemos:

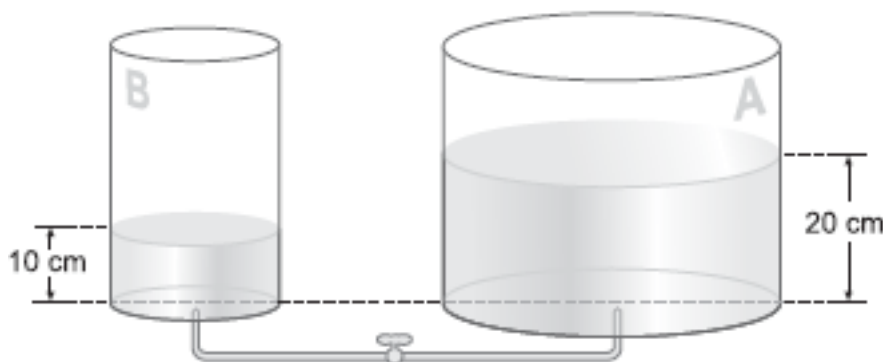
$$P_h[\text{atm}] = P_h[\text{Pa}] \cdot 9,9 \cdot 10^{-6} = 428064 \cdot 9,9 \cdot 10^{-6} = 4,23$$

Por fim, soma-se um atm obtendo-se $P_{\text{total}} = 5,23$.

Logo, a **alternativa D** está CORRETA e é o gabarito da questão.



34. (CESGRANRIO/PETROBRAS-2014) Um sistema é composto por um vaso cilíndrico A, cuja área da seção reta é igual a 200 cm^2 , comunicado a outro vaso cilíndrico B, cuja área da seção reta é 100 cm^2 . Uma válvula, no tubo fino de comunicação que fica na base do sistema, separa os fluidos dos dois vasos. Os vasos contêm um mesmo líquido, porém, quando a válvula está fechada, a altura do líquido no vaso A é de 20 cm , enquanto no de vaso B é de 10 cm .



Após a abertura da válvula, os fluidos presentes nos dois vasos terão a mesma altura, em cm, aproximadamente igual a

- a) 12,3
- b) 14,8
- c) 15,6
- d) 16,7
- e) 18,2

Comentário:

Podemos resolver esta questão nos baseando no volume total de fluido nos dois tanques.

Sabendo-se que o volume de um cilindro é dado pela área da base multiplicada pela altura de fluido temos que:

$$V_1 = A_1 \cdot h_1 = 100 \cdot 10 = 1000 \text{ cm}^3 \quad e \quad V_2 = A_2 \cdot h_2 = 200 \cdot 20 = 4000 \text{ cm}^3$$

$$V_T = V_1 + V_2 = 1000 + 4000 = 5000 \text{ cm}^3$$

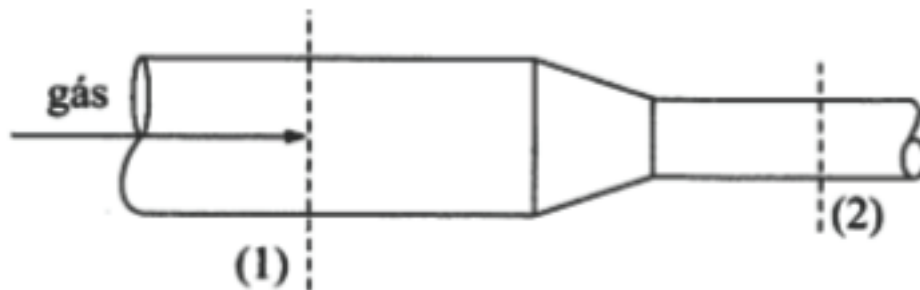
Quando a válvula for aberta, ele irá se estabilizar em uma altura idêntica nos dois reservatório desta forma, a seguinte equação pode ser utilizada:

$$V_T = A_1 \cdot h + A_2 \cdot h = 5000 = 100 \cdot h + 200 \cdot h \Rightarrow h = 16,7 \text{ cm}$$

Logo, a **alternativa D** está CORRETA e é o gabarito da questão.



35. (IBFC/PCie PR-2017))Conforme figura a seguir um gás escoa em regime permanente no trecho de tubulação. Na seção (1), tem-se área $A_1 = 40 \text{ cm}^2$, Massa específica $\rho_1 = 8 \text{ kg / m}^3$ e velocidade $v_1 = 60 \text{ m/s}$. Na seção (2), área $A_2 = 20 \text{ cm}^2$ e Massa específica $\rho_2 = 24 \text{ kg/m}^3$. Assinale a alternativa correta que indica a velocidade na seção (2):



- a) $V^2 = 10 \text{ m/s}$
- b) $V^2 = 20 \text{ m/s}$
- c) $V^2 = 30 \text{ m/s}$
- d) $V^2 = 40 \text{ m/s}$
- e) $V^2 = 50 \text{ m/s}$

Comentário:

Pelo princípio de conservação da massa temos que a vazão mássica na seção maior será igual a vazão mássica na seção com diâmetro menor. Assim temos que:

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A \Rightarrow \dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot A_2$$

Substituindo os valores dados no enunciado da questão temos que:

$$8 \cdot 60 \cdot 40 = 24 \cdot 20 \cdot V_2$$

$$V_2 = 40 \text{ m/s}$$

Portanto, a **alternativa D** está CORRETA e é o gabarito da questão.

36. (IESES/IGP SC-2017) Em relação à Mecânica dos Fluidos, assinale a alternativa correta:

- a) Para utilizar a equação de Bernoulli na sua forma original despreza-se os efeitos da compressibilidade do fluido e de mudanças da velocidade em cada posição no espaço (adota-se a hipótese de que o escoamento é incompressível e em regime permanente.)



- b) Os parâmetros adimensionais relevantes para o cálculo da perda de carga por atrito no escoamento incompressível ao longo de uma tubulação reta são o número de Reynolds, o número de Mach e a rugosidade relativa.
- c) Os escoamentos em que o número de Reynolds está acima de 2300 são geralmente considerados turbulentos.
- d) Considerando a massa específica da água igual a 1000 kg/m^3 e a aceleração da gravidade aproximadamente 10 m/s^2 , um corpo mergulhado 40 m abaixo da superfície da água parada estaria sujeito a uma pressão 4 MPa acima da pressão encontrada na superfície.

Comentário:

A **alternativa A** está CORRETA e é o gabarito da questão. As considerações mínimas necessárias para a utilização da equação de Bernoulli são: regime permanente, escoamento incompressível e escoamento não viscoso.

A **alternativa B** está incorreta. O número não Mach não é um parâmetro adimensional relevante para o cálculo da perda de carga por atrito no escoamento incompressível ao longo de uma tubulação reta.

A **alternativa C** está incorreta. Escoamentos com número de Reynolds acima 2300 podem ser classificados como turbulento quando considera-se apenas escoamento laminar ou turbulento. Contudo, a banca considera que acima de 2300 temos escoamentos de transição, desta forma, para $Re > 4000$ teremos escoamento turbulento.

A **alternativa D** está incorreta. A equação que relaciona a variação da pressão com a profundidade é dada por:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \rho g \Delta z = \gamma \Delta z$$

Em que γ é o peso específico do fluido dado pelo produto entre a massa específica do fluido (ρ) e a aceleração da gravidade (g). Assim podemos perceber que a diferença de pressão entre dois pontos de um fluido com densidade constante é proporcional a distância vertical Δz entre os pontos e a massa específica do fluido, ou seja, a pressão de um fluido aumenta linearmente com a profundidade.

$$\Delta P = 1000 \cdot 10 \cdot 40 = 0,4 \text{ MPa}$$

37. (INCAB/ PC AC-2015) Nas análises dos escoamentos compressíveis o Número de Mach M desempenha um papel importante. Um escoamento com Número de Mach menor que a unidade ($M < 1$) é classificado como:

- a) hipersônico.
- b) subsônico.
- c) supersônico.



- d) sônico.
- e) transônico.

Comentário:

Geralmente em casos em que ocorre a análise de escoamentos de gases a altas velocidades expressamos a velocidade do gás em número de Mach (Ma), adimensional, que é definido pela razão entre a velocidade do escoamento (V) e a velocidade do som (c) que possui o valor de 346 m/s no ar à temperatura ambiente em nível do mar.

O escoamento será chamado de sônico para $Ma = 1$, subsônico para $Ma < 1$, supersônico para $Ma > 1$ e hipersônico para $Ma \gg 1$.

Logo, a **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão.

38. (IBFC/PC RJ-2013) No interior de uma tubulação ocorre o escoamento em regime permanente de um líquido. Na seção transversal de diâmetro interno de 0,48m a velocidade de escoamento é de 0,7m/s. Calculando-se o diâmetro interno, em mm, na seção transversal cuja velocidade de escoamento é de 378m/min encontra-se o valor de:

- a) 160.
- b) 180.
- c) 210.
- d) 240.
- e) 250.

Comentário:

Para a resolução desta questão devemos calcular a vazão mássica primeiramente na seção transversal da tubulação com diâmetro interno de 0,48 m. Vejamos:

Pelo princípio de conservação da massa temos

$$\dot{Q} = V \cdot A \Rightarrow \dot{Q}_1 = \dot{Q}_2$$

$$V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2$$

$$\dot{Q}_1 = \frac{\pi \cdot 0,48^2}{4} \cdot 0,7 = 0,04032\pi \frac{m^3}{s}$$

$$\dot{Q}_2 = 0,04032\pi = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 378 \left[\frac{m}{min} \right] \cdot \left[\frac{min}{60s} \right] \Rightarrow D = 0,16 m = 160 mm$$



Logo, a **alternativa A** está CORRETA e é o gabarito da questão.

39. (IBFC/PCie PR-2017) Avalie as afirmações que seguem com base no tema “Mecânica dos fluidos”.

I. A expressão fluido não newtoniano é empregada para classificar todos os fluidos em que a tensão cisalhante não é diretamente proporcional à taxa de deformação.

II. Nos escoamentos internos incompressíveis, a natureza laminar ou turbulenta é determinada pelo número de Reynolds (Re), que relaciona o diâmetro da tubulação à velocidade média do escoamento e à viscosidade cinemática do fluido ($Re = VD/\nu$).

III. O esforço exercido em um fluido é independente do tempo em que a força é aplicada e a deformação desaparece quando a força é removida.

Está correto o que se afirma em:

- a) I e II, apenas
- b) I, apenas
- c) I e III, apenas
- d) I, II e III
- e) II e III, apenas

Comentário:

A **alternativa A** está CORRETA e é o gabarito da questão.

O **item III** está incorreto pelo fato de que a deformação em um fluido nem sempre desaparece quando a força é removida.

40. (FEPESE/DEINFRA-SC – 2019) Analise o texto abaixo:

No caso de um escoamento de um fluido em duto, sua natureza (laminar ou turbulenta) é determinada pelo valor do parâmetro chamado número de

Assinale a alternativa que completa corretamente as lacunas do texto.

- a) compressível • dimensional • Rankine, $Ra = 2,300$
- b) incompressível • dimensional • Rankine, $Ra = 2,300$
- c) incompressível • dimensional • Rancero, $Ra \geq 3,00$
- d) incompressível • adimensional • Reynolds, Re



e) incompressível • dimensional • Ranquine, Ra

Comentário:

De acordo com a classificação de escoamentos laminar e turbulento para fluidos incompressíveis em dutos temos que o escoamento será laminar quando a grandeza adimensional do número de Reynolds, calculada pela expressão $Re = \rho \frac{\vec{V}D}{\mu}$, for menor que 2300.

Logo a **alternativa D** está CORRETA e é o gabarito da questão.

41. A relação entre a viscosidade absoluta, ou dinâmica, μ e a viscosidade cinemática ν , μ/ν é dada por:

- a) ρ a massa específica do fluido
- b) g , a aceleração da gravidade
- c) β , o módulo de Bulk do fluido
- d) c , o calor específico do fluido
- e) γ , o peso específico do fluido

Comentário:

A relação entre a viscosidade absoluta, ou dinâmica, μ e a viscosidade cinemática ν , μ/ν é dada pela massa específica ρ do fluido. A unidade da viscosidade dinâmica é kg/m.s ou N.s/m^2 e a unidade da viscosidade cinemática é m^2/s ou stoke (cm^2/s).

Trabalhando com unidades temos que:

$$\rho = \frac{\mu}{\nu} = \frac{1 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m.s}} \right]}{1 \cdot \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]} \Rightarrow \rho = \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Portanto, a **alternativa A** está CORRETA e é o gabarito da questão.

42. (VUNESP/UFABC/2019) Existe uma ampla variedade de instrumentos para medição de pressão. Em sistemas de condicionamento de ar, exaustão, ventilação etc., os valores de pressão são geralmente reduzidos e a interpretação correta, assim como as conversões, das unidades de pressão são bastante importantes.

Dados: Peso específico da Água = 10000 N/m³ e do Mercúrio = 136000 N/m³.

Se um desses instrumentos indicar uma pressão de 20,4 milímetros de coluna de água, é correto afirmar que tal valor equivale a, em mmHg e em Pa, respectivamente,



- a) 0,0015 e 204.
- b) 1,5 e 204000.
- c) 1,5 e 0,204.
- d) 0,0015 e 204000.
- e) 1,5 e 204.

Comentário:

Esta é uma questão simples onde através da expressão da pressão hidrostática podemos realizar a conversão da pressão em mmH₂O para mmHg e em Pascal.

Primeiramente devemos calcular a pressão em Pascal através dos valores do peso específico da água ($\gamma_{\text{água}} = \rho g = 10000 \left(\frac{N}{m^3}\right)$).

$$P = 10000 \cdot 0,00204 = 204 [Pa]$$

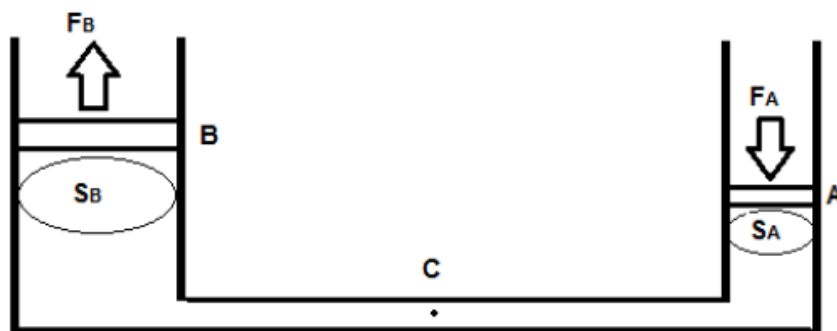
Note que devemos realizar a conversão de unidades para metros. Assim já obtivemos a pressão no ponto em Pascal. Como a pressão é a mesma podemos calcular a pressão em mmHg pela mesma expressão em que:

$$204 [Pa] = 136000 \cdot h [mHg] \Rightarrow h = 0,0015 [mHg]$$

Muito cuidado nesta hora! Note que a o resultado obtido está em metros enquanto o enunciado da questão nos pede o valor em mmHg. Inclusive a alternativa A trás essa indicação levando a acreditar que ela está correta. Contudo, após a conversão de unidade teremos que a pressão em mmHg é igual a 1,5.

Logo, a **alternativa E** está CORRETA e é o gabarito da questão.

43. (NC UFPR/ITAIPU/2019) Considere o desenho a seguir, apresentado na condição de equilíbrio de forças, sendo SA e SB as áreas respectivas do pistão A e do pistão B:



Com base no princípio de Pascal e no desenho acima, identifique como verdadeiras (V) ou falsas (F) as seguintes afirmativas:



- () A força aplicada em A gera uma pressão $PA=FA/SA$
- () $PA=PB=PC$.
- () A força FB é menor que a força FA.
- () Se o pistão A deslocar-se x cm, o pistão B deslocar-se-á $x.(SA/SB)$ cm.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta, de cima para baixo.

- a) F – V – F – V.
- b) F – F – V – V.
- c) V – V – F – V.
- d) V – V – F – F.
- e) F – F – V – F.

Comentário:

Vamos analisar cada um dos itens.

O item I é verdadeiro, pois sabemos que a pressão é calculada pela razão entre a força e a área.

O item II é verdadeiro. O princípio de Pascal nos diz que ao aplicarmos uma pressão em um fluido estático confinado a pressão deste fluido em todos os outros pontos irá variar proporcionalmente igual. Portanto, $PA=PB=PC$.

O item III é falso uma vez que a área em SB é maior do SA para satisfazermos a relação $PA=PB$ devemos possuir uma força SB maior do que SA.

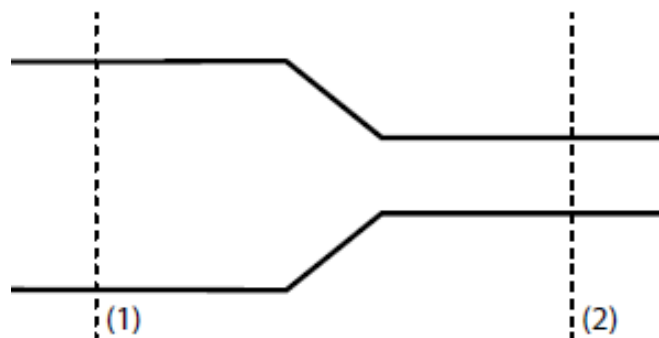
O item IV é verdadeiro. Através da análise da variação de volume em A e em B temos a seguinte relação:

$$\Delta V_A = \Delta V_B \Rightarrow x \cdot SA = x' \cdot SB \Rightarrow x' = x \left(\frac{SA}{SB} \right).$$

Logo, a **alternativa C** está CORRETA e é o gabarito da questão.

44. (FEPESE/CELESC-2018) O ar escoia através do tubo convergente mostrado na figura abaixo.





A área da seção 1 é de 20 cm^2 e a área da seção 2 é de 10 cm^2 . A massa específica do ar na seção 1 é de $0,12 \text{ utm/m}^3$, enquanto que na seção 2 é de $0,10 \text{ utm/m}^3$.

Sabendo que a velocidade na seção 1 é de 8 m/s , determine a velocidade do ar na seção 2.

- a) $24,0 \text{ m/s}$
- b) $19,2 \text{ m/s}$
- c) $12,0 \text{ m/s}$
- d) $9,6 \text{ m/s}$
- e) $4,8 \text{ m/s}$

Comentário:

Está é uma questão muito simples que através do princípio de conservação da massa para um escoamento compressível podemos determinar a velocidade no ponto 2. Vejamos:

$$\dot{m} = \rho VA$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$$

Trabalhando com as mesmas unidades em ambos os lados da equação, precisamos apenas substituir os valores obtendo-se:

$$0,12 \cdot 20 \cdot 8 = 0,10 \cdot 10 \cdot V_2 \quad \Rightarrow \quad V_2 = 19,2 \text{ m/s}$$

Portanto, a **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão.

45. (CEV UECE/Pref. Sobral/2018) Um tanque de formato cúbico de aresta "L" está totalmente preenchido com um líquido de massa específica "ρ". O tanque é aberto em sua face superior e exposto à pressão atmosférica. Adotando a variável "g" para a gravidade, o valor da força total resultante "FR" atuando nas paredes laterais do tanque é definida pela equação:

a) $F_R = \frac{\rho g L^2}{3}$



$$b) F_R = \frac{\rho L^3}{2g}$$

$$c) F_R = \frac{\rho g L^3}{2}$$

$$d) F_R = \frac{\rho L^2}{3g}$$

Comentário:

Como sabemos a força resultante na parede de um corpo submerso pode ser calculada por

$$F_R = P_c \cdot A$$

Onde P_c é a pressão crítica no centroide da parede e A a área da superfície. Como $P_c = \rho g h_c$, em que h_c é a distância da superfície até o ponto centroide da superfície em análise temos que:

$$F_R = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot A$$

Como estamos falando de um tanque com formato cúbico com arestas L as superfícies das paredes laterais possuíram uma área igual a L^2 e $h_c = L/2$. Assim temos que:

$$F_R = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot A = \rho \cdot g \cdot \frac{L}{2} \cdot L^2 \Rightarrow F_R = \frac{\rho g \cdot L^3}{2}$$

Logo, a **alternativa C** está CORRETA e é o gabarito da questão.

46. (FGV/ALERO/2018) Uma tora de madeira de seção retangular de lados 50 cm e 40 cm e comprimento de 4 metros flutua na superfície d'água.

Sabendo-se que o peso específico da água é de 1kg/dm³, a densidade da madeira é de 0,60 kg/dm³, e que sobre a tora de madeira equilibra-se um corpo de massa 100kg, o percentual de volume da tora de madeira que estará submerso é de

a) 37,5%.

b) 45,0%.

c) 57,5%.

d) 60,0 %.

e) 72,5%.

Comentário:



A partir da equação de empuxo podemos determinar o volume deslocado de água necessário para que a tora + peso não afunde. A imagem abaixo mostra a representação esquemática do que é dito no enunciado:



A força de empuxo para que haja flutuação deve ser igual a soma dos pesos da tora e da massa sobre ela. Assim temos que:

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow F_{\text{empuxo}} - P_{\text{massa}} - P_{\text{tora}} = 0$$

O peso da massa é dado por:

$$P_{\text{massa}} = m \cdot g = 100 \cdot 10 = 1000 \text{ N}$$

O peso da tora é dado por seu volume total multiplicado pela sua densidade e a aceleração da gravidade:

$$P_{\text{tora}} = V_{\text{tora}} \cdot \rho_{\text{tora}} \cdot g \Rightarrow 0,4 \cdot 0,5 \cdot 4 \cdot 600 \cdot 10 = 4800 \text{ N}$$

A força do empuxo, em que V é o volume de água deslocado, ou seja, o volume submerso da tora, é calculada por:

$$F_{\text{empuxo}} = \rho_{\text{água}} \cdot g \cdot V$$

$$4800 + 1000 = 1000 \cdot 10 \cdot V \Rightarrow V = 0,58 \text{ m}^3$$

Como a questão nos pede o percentual submerso devemos dividir o volume submerso pelo volume total da tora assim temos que:

$$\%V_{\text{sub}} = \frac{0,58}{0,8} \cdot 100 = 72,5\%$$

Logo, a **alternativa E** está CORRETA e é o gabarito da questão.

47. (CONSULPLAN/TRF-2ª Região/2017) Em um determinado motor de propulsão temos na sua saída uma velocidade dos gases de $V_s = 2.500 \text{ km/h}$ e a área do bocal na saída $A_s = 36 \times 10^{-4} \text{ m}^2$. Considerando que a saída dos gases é igual à pressão atmosférica do ambiente, determine a força de propulsão F_p em N no bocal de escape. Assinale a alternativa correta com o valor de F_p (Força de Propulsão) em N.

(Considere: $\rho_{\text{gases}} = 0,45 \text{ kg/m}^3$).

a) $F_p = 624,42 \text{ N}$.



b) $F_p = 781,25 \text{ N}$.

c) $F_p = 934,78 \text{ N}$.

d) $F_p = 1144,83 \text{ N}$.

Comentário:

Essa é uma questão que exige o conhecimento do conceito de quantidade de movimento para um volume de controle inercial. Em que:

$$\vec{F} = \vec{F}_S + \vec{F}_B = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \vec{V} \rho \, dV + \sum_{SC} \vec{V} \cdot \rho \cdot \vec{V} \cdot \vec{A}$$

Como não há variações de massa no interior do volume de controle (regime permanente) o primeiro termo da equação é nulo e teremos apenas a saída dos gases. Assim, a força de propulsão será calculada apenas pelo termo da equação referente à passagem de massa pela superfície de controle. Vejamos:

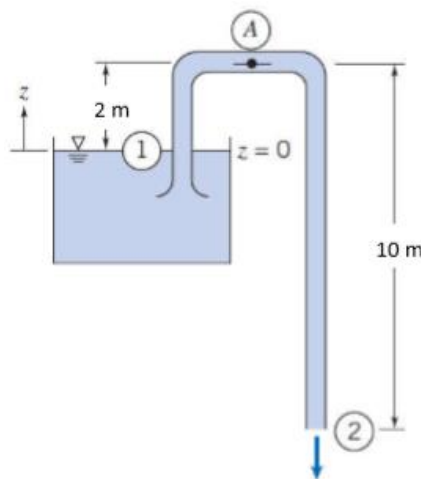
$$F_p = \sum_{SC} \vec{V} \cdot \rho \cdot \vec{V} \cdot \vec{A} = V^2 \cdot \rho \cdot A$$

Portanto a força de propulsão será igual à multiplicação da densidade dos gases pela velocidade ao quadrado e a área da superfície do bocal:

$$F_p = V^2 \cdot \rho \cdot A = 0,45 \cdot \left(\frac{2500}{3,6} \right)^2 \cdot (36 \cdot 10^{-4}) = 781,25 \text{ N}$$

Lembre-se de converter a velocidade de km/h para m/s. Logo, a **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão.

48. (CEV UECE/DETRAN-CE-2018) Atente à seguinte figura, onde se representa um tubo em "U" que atua como um sifão de água.



Fonte: Introduction to Fluid Mechanics / Fox and McDonald's - 8th Ed.



Observe que a curva do tubo fica a 2 m acima da superfície da água de um reservatório de grande capacidade, e a saída do tubo fica a 10 m abaixo da curva. A água sai na extremidade do sifão como um jato livre à pressão atmosférica. Considerando a água como um fluido incompressível, e um fluxo sem atrito e em regime permanente, pode-se afirmar corretamente que a velocidade do jato de água ao sair do tubo é

- a) 6,3 m/s.
- b) 10,0 m/s.
- c) 12,6 m/s.
- d) 14,1 m/s.

Comentário:

Para resolvermos a equação devemos utilizar a equação de Bernoulli para escoamento entre dois pontos fazendo as seguintes considerações:

- Atrito desprezível;
- Escoamento em regime permanente, incompressível e ao longo de uma linha de corrente;
- Reservatório muito grande comparado ao tubo.

Para encontrar a velocidade do escoamento no ponto 2 devemos aplicar a equação de Bernoulli entre os pontos 1 e 2. Vejamos:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + g \cdot z_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + g \cdot z_2$$

Como consideramos que o reservatório possui uma área muito maior que o tubo a velocidade de escoamento no ponto 1 é aproximadamente igual a zero. Também, como a água escoa em 2 como um jato livre a pressão atmosférica temos que $P_1 = P_2 = P_{atm}$.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + g \cdot z_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + g \cdot z_2 \Rightarrow g \cdot z_1 = \frac{V_2^2}{2} + g \cdot z_2 \Rightarrow V_2 = \sqrt{2g(z_1 - z_2)}$$

$$V_2 = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot (0 - (-8))} = 12,6 [m/s]$$

Portanto a **alternativa C** está CORRETA e é o gabarito da questão.

Apesar de na questão não ser exigido, podemos também encontrar uma expressão para a pressão no ponto A escrevendo a equação de Bernoulli entre os pontos 1 e A. Vejamos:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + g \cdot z_1 = \frac{P_A}{\rho} + \frac{V_A^2}{2} + g \cdot z_A$$



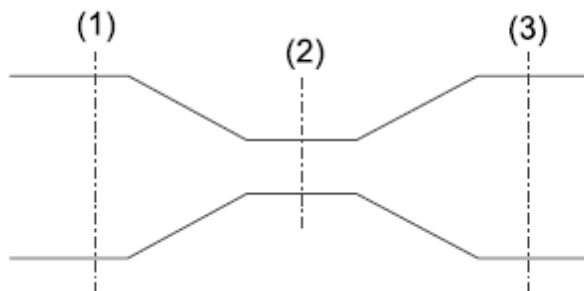
Da mesma maneira $V_1 = 0$ e pelo princípio de conservação da massa $V_A = V_2$, assim temos que:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + g \cdot z_1 = \frac{P_A}{\rho} + \frac{V_A^2}{2} + g \cdot z_A$$

$$P_A = P_1 + \rho \cdot g \cdot (z_1 - z_A) - \rho \frac{V_2^2}{2}$$

Lembre-se que $P_1 = P_{atm}$

49. (VUNESP/UFABC-2019) Para projeto e otimização de instalações hidráulicas, é de fundamental importância o domínio de diversos conceitos relacionados à vazão, pressão, velocidade de escoamento, perdas de energia etc. A figura a seguir ilustra um dispositivo de grande utilidade, para diversas aplicações, que permite abordagem de todos esses conceitos. As áreas das seções circulares (1) e (3) são idênticas e maiores que da seção (2).



Analisando-se o escoamento de um líquido neste dispositivo, é correto afirmar que

- a) a maior velocidade e a menor pressão ocorrem na seção (2) e que se trata de um tubo de Pitot.
- b) a velocidade do escoamento é maior na seção (2) e a vazão é maior nas seções (1) e (3).
- c) se fosse considerado o escoamento ideal, sem perdas de carga ou energia, valeria a equação de Bernoulli e a pressão em (3) seria maior que em (1).
- d) numa situação hipotética de escoamento ideal, em relação ao real, ocorreria $p_3 > p_2$, mas $v_3 < v_2$, e $p_3 = p_1$.
- e) em situação de escoamento real, ocorreria $p_3 > p_2$, mas $v_3 < v_2$ e $p_3 = p_1$.

Comentário:

Antes de analisarmos cada uma das alternativas vejamos o equacionamento, através do princípio de conservação da massa, do tubo de Venturi dado na questão:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_3 = V_1 A_1 = V_2 A_2 = V_3 A_3$$



Como $A_1 = A_3$, as velocidades em 1 e 3 serão iguais e, como a área da seção transversal em 2 é menor temos que $V_2 > V_1$, logo $V_2 > V_3$ também. Considerando um escoamento ideal e aplicando a equação de Bernoulli temos que:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} = \frac{P_3}{\rho} + \frac{V_3^2}{2} \Rightarrow P_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_2^2 = P_3 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_3^2$$

Como o fluido é o mesmo e considerando o escoamento incompressível, o peso específico é constante, logo se a velocidade em 2 for maior a pressão no ponto 2 será menor do que a pressão em 1 e 3.

A **alternativa A** está incorreta. Apesar de a maior velocidade e a maior pressão estarem localizadas na seção 2, a imagem trata de um tubo de Venturi e não de Pitot.

A **alternativa B** está incorreta. Realmente a maior velocidade ocorre na seção 2, mas pelo princípio da conservação da massa a vazão é igual em todas as seções do tubo.

A **alternativa C** está incorreta. Mesmo considerando o escoamento ideal, sem perdas de carga ou energia e aplicando a equação de Bernoulli será comprovado que a pressão em 3 será igual em 1, pois ambas as seções possuem a mesma área de seção transversal e, portanto, a mesma velocidade de escoamento, fazendo com que as pressões sejam iguais.

A **alternativa D** está CORRETA e é o gabarito da questão. Em um escoamento ideal $p_3 > p_2$ é verdadeiro uma vez que a velocidade na seção 2 é maior do que nas seções 1 e 3 que possuem pressões iguais e mesma área de seção transversal.

A **alternativa E** está incorreta, pois em um escoamento real devemos considerar a perda de carga $\Delta P = (P_1 - P_3)$ que ocorrerá, por menor que ela seja no tubo de Venturi, com isso a pressão na seção 3 será menor que na seção 1 ($P_3 < P_1$).



LISTA DE QUESTÕES

Mecânica dos Fluidos

1. (CEBRASPE/CODEVASF-2021) Com relação a mecânica dos fluidos, julgue o item a seguir.

Considere uma prensa hidráulica em equilíbrio hidrostático, consistindo em um êmbolo 1, de área A_1 e força aplicada F_1 , e, do outro lado, um êmbolo 2, de área A_2 e força aplicada F_2 . Nesse caso, se A_1 for menor que A_2 , a força F_1 será menor que a força F_2 .

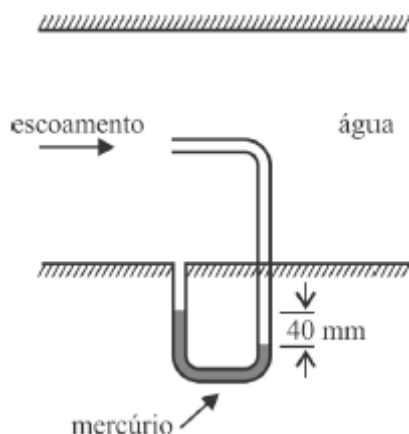
2. (CEBRASPE/CODEVASF-2021) Com relação a mecânica dos fluidos, julgue o item a seguir.

Se um vaso comunicante em forma de U aberto em pressão atmosférica for preenchido por água e óleo (confinado somente em um lado do vaso), a altura de nível do lado do óleo será menor que da água.

3. (CEBRASPE/CODEVASF-2021) Com relação a mecânica dos fluidos, julgue o item a seguir.

Na mecânica dos fluidos, no escoamento turbulento, as partículas do fluido tendem a percorrer trajetórias paralelas em diferentes velocidades.

4. (CEBRASPE/SLU DF-2019)



No interior de uma tubulação, instalou-se um medidor, semelhante a um tubo de Pitot, com tomada para pressão de estagnação posicionada de forma alinhada à direção do escoamento, exatamente no centro do tubo de seção circular. A tomada da pressão estática foi posicionada na parede do tubo, na mesma seção transversal em que se posicionou a tomada de pressão de estagnação. A figura precedente mostra o esquema da montagem, em que se utilizou um manômetro de mercúrio para a medição da diferença entre a pressão de estagnação e a pressão estática.

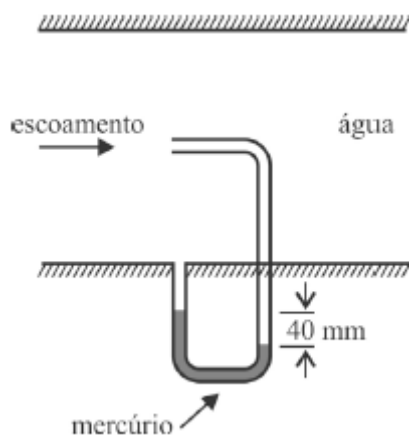
Considerando que a densidade da água seja $\rho_{H_2O} = 1.000 \text{ kg/m}^3$, do mercúrio, $\rho_{Hg} = 13.600 \text{ kg/m}^3$, que a viscosidade cinemática da água seja $\nu_{H_2O} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ e que a aceleração gravitacional seja igual a 10



m/s^2 , julgue o item que se segue, a respeito da situação apresentada e de outros aspectos ligados a escoamento de fluidos.

Para calcular a velocidade de escoamento de um fluido no centro de um tubo utilizando-se a equação de Bernoulli, deve-se considerar que o escoamento ao longo de uma linha de fluxo seja permanente, que o fluido seja incompressível e que, na desaceleração do escoamento ao longo da linha de fluxo de estagnação, o atrito viscoso seja desprezível.

5. (CEBRASPE/SLU DF-2019)



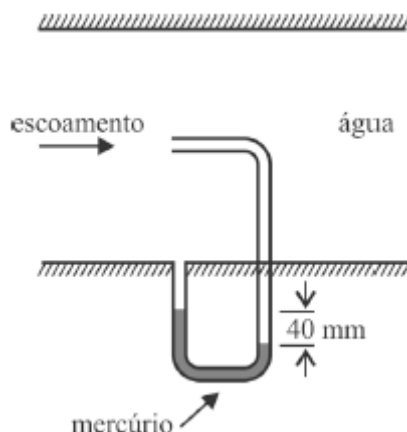
No interior de uma tubulação, instalou-se um medidor, semelhante a um tubo de Pitot, com tomada para pressão de estagnação posicionada de forma alinhada à direção do escoamento, exatamente no centro do tubo de seção circular. A tomada da pressão estática foi posicionada na parede do tubo, na mesma seção transversal em que se posicionou a tomada de pressão de estagnação. A figura precedente mostra o esquema da montagem, em que se utilizou um manômetro de mercúrio para a medição da diferença entre a pressão de estagnação e a pressão estática.

Considerando que a densidade da água seja $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1.000 \text{ kg/m}^3$, do mercúrio, $\rho_{\text{Hg}} = 13.600 \text{ kg/m}^3$, que a viscosidade cinemática da água seja $\nu_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ e que a aceleração gravitacional seja igual a 10 m/s^2 , julgue o item que se segue, a respeito da situação apresentada e de outros aspectos ligados a escoamento de fluidos.

Na situação apresentada, considerando-se que o escoamento seja permanente, em regime turbulento e com perfil de velocidades totalmente desenvolvido, a velocidade máxima de escoamento será inferior a 3 m/s .

6. (CEBRASPE/SLU DF-2019)





No interior de uma tubulação, instalou-se um medidor, semelhante a um tubo de Pitot, com tomada para pressão de estagnação posicionada de forma alinhada à direção do escoamento, exatamente no centro do tubo de seção circular. A tomada da pressão estática foi posicionada na parede do tubo, na mesma seção transversal em que se posicionou a tomada de pressão de estagnação. A figura precedente mostra o esquema da montagem, em que se utilizou um manômetro de mercúrio para a medição da diferença entre a pressão de estagnação e a pressão estática.

Considerando que a densidade da água seja $\rho_{H_2O} = 1.000 \text{ kg/m}^3$, do mercúrio, $\rho_{Hg} = 13.600 \text{ kg/m}^3$, que a viscosidade cinemática da água seja $\nu_{H_2O} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ e que a aceleração gravitacional seja igual a 10 m/s^2 , julgue o item que se segue, a respeito da situação apresentada e de outros aspectos ligados a escoamento de fluidos.

Admitindo-se que, na situação apresentada, a velocidade de escoamento da água dentro do tubo cilíndrico, medida por meio de um tubo de Pitot localizado no centro do tubo, seja de 2 m/s , então, se o tubo tiver 1 m de diâmetro, o escoamento será considerado laminar.

7. (CEBRASPE/EMAP-2018) Acerca do efeito das forças em fluidos, julgue o item que se segue.

Considere que dois diferentes líquidos de densidades ρ_1 e ρ_2 sejam colocados em dois recipientes cúbicos idênticos e que as forças hidrostáticas nas faces verticais dos recipientes sejam respectivamente iguais a F_1 e F_2 .

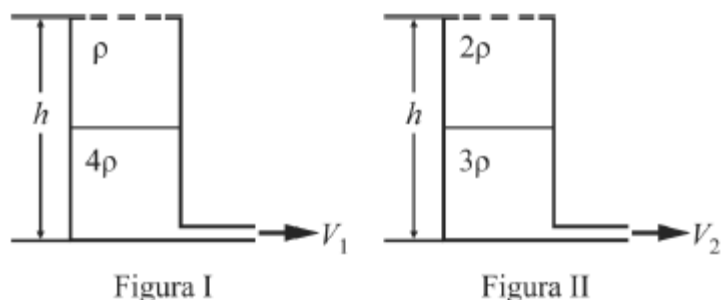
Nessa situação, se $\rho_1 > \rho_2$, é correto afirmar que $F_1 > F_2$.

8. (CEBRASPE/EMAP-2018) Acerca do efeito das forças em fluidos, julgue o item que se segue.

Situação hipotética: A figura I mostra um tanque de altura h , que contém, na sua metade inferior, um líquido de densidade 4ρ e, na metade superior, um líquido de densidade ρ . Na figura II, outro tanque idêntico e com a mesma altura h apresenta, na metade inferior, um líquido de densidade 3ρ ; e, na metade superior, um líquido com densidade 2ρ .

Assertiva: Considerando-se que, na base de ambos os tanques, as aberturas sejam idênticas e que os diâmetros das aberturas sejam desprezíveis, quando comparados à altura da coluna de líquido, é correto afirmar que as velocidades instantâneas de descarga V_1 e V_2 são iguais.

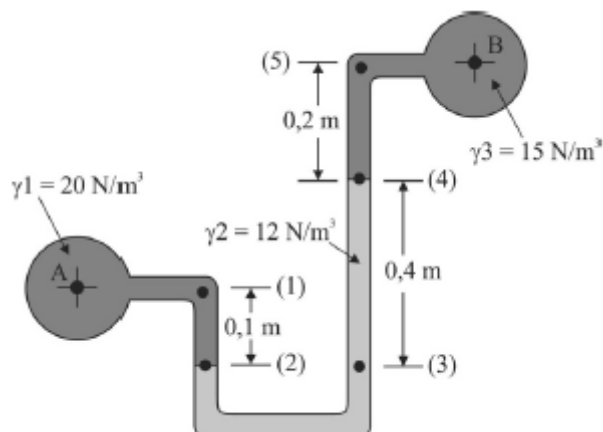




9. (CEBRASPE/EMAP-2018) Acerca do efeito das forças em fluidos, julgue o item que se segue.

Considere que dois dutos de diâmetros d_1 e d_2 convirjam para formar um duto de diâmetro d . Se o escoamento nos dois dutos se dá a velocidades v_1 e v_2 , é correto afirmar que a velocidade v no terceiro duto será expressa pela relação: $v = \frac{d_1 v_1 + d_2 v_2}{d}$

10. (CEBRASPE/IFF-2018)



Considerando-se os dados apresentados nessa figura, em que γ é o peso específico, é correto afirmar que a diferença de pressão entre A e B, em Pa, é igual a

- a) 5,8.
- b) 6,4.
- c) 7,8.
- d) 10,4.
- e) 12,6.

11. (CEBRASPE/FUB-2015) Em relação aos fenômenos de transporte, que tratam da quantidade de movimento de fluidos em tubulações, julgue o item seguinte.

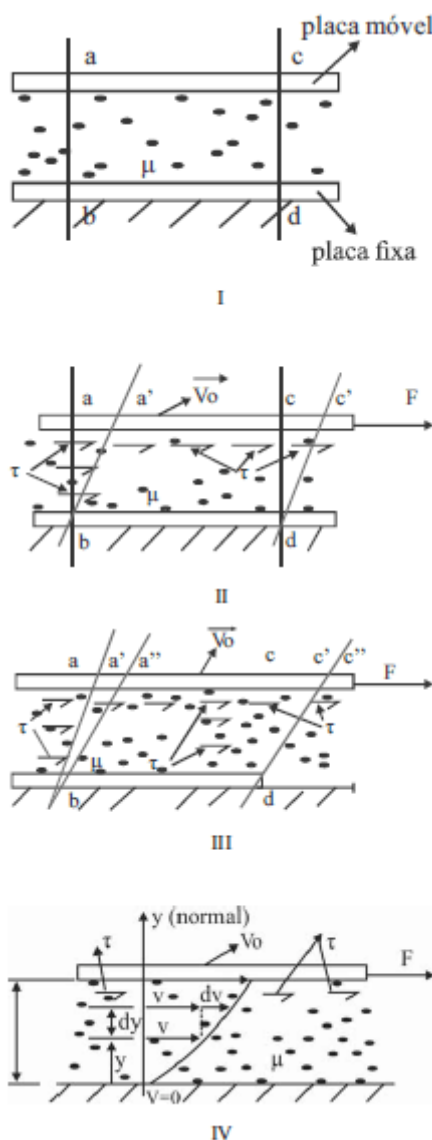
O diagrama de Moody é uma representação gráfica linear do fator de fricção em função do número de Reynolds e da rugosidade relativa de uma tubulação.



12. (CEBRASPE/FUB-2015) Em relação aos fenômenos de transporte, que tratam da quantidade de movimento de fluidos em tubulações, julgue o item seguinte.

Fluidos newtonianos, os mais e os menos viscosos, são caracterizados por apresentarem viscosidade variante com o tempo e com a força aplicada.

13. (CEBRASPE/MEC-2015)



Uma substância é colocada entre duas placas paralelas bem próximas e bem grandes, sendo a placa inferior fixa e a superior móvel. Aplica-se uma força tangencial F na placa superior que se movimenta com velocidade constante V_0 , conforme ilustrado nas figuras I, II, III e IV. Nesse contexto e a respeito da mecânica dos fluidos, julgue o item subsequente.

As quatro grandezas básicas ou categorias fundamentais da análise dimensional são as unidades de (massa $[M]$; comprimento $[L]$; tempo $[T]$ e temperatura $[\theta]$) cujas dimensões para viscosidade cinemática (ν) são L^2T^{-1} .



14. (CEBRASPE/SUFRAMA-2014) Com relação à mecânica dos fluidos, julgue o item que se segue.

O tubo Venturi é um medidor de vazão que se utiliza do princípio de conservação de massa e da equação de Bernoulli para calcular a vazão de uma tubulação, por meio de um estrangulamento denominado garganta. Nesse processo, a área da seção transversal será reduzida, o fluido acelerado e a pressão no estrangulamento do tubo reduzida.

15. (CEBRASPE/SUFRAMA-2014) Com relação à mecânica dos fluidos, julgue o item que se segue.

Considere que um fluido seja bombeado por um duto em baixa velocidade e baixo número de Reynolds, por meio de uma bomba hidráulica inserida na entrada no duto, e que a saída do duto esteja mais alta que a entrada. Nessa situação, se o escoamento for laminar, não haverá perda de carga por atrito.

16. (CEBRASPE/SUFRAMA-2014) Com relação à mecânica dos fluidos, julgue o item que se segue.

Suponha que uma força de 100 N empurra para baixo um dos êmbolos de um macaco hidráulico com área igual a 10m^2 e, com isso, pressiona um líquido incompressível confinado que transmite o estímulo para o outro êmbolo do sistema. Se o segundo êmbolo tiver uma área dez vezes menor que a do primeiro, então a força aplicada no primeiro êmbolo será capaz de sustentar um peso de até 10 N no segundo êmbolo.

17. (CEBRASPE/PF-2014) No que se refere a conceitos e princípios da hidrostática, julgue o item a seguir.

Considere que duas placas estejam separadas por uma camada de 5 mm de óleo com densidade relativa 0,80 e viscosidade cinemática $1,25 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Nesse caso, se uma placa está estacionária e a outra se move a uma velocidade de 4 m/s, então a tensão cisalhante média no óleo é igual a 80 Pa.

18. (CEBRASPE/PF-2014) No que se refere a conceitos e princípios da hidrostática, julgue o item a seguir.

Considere que, em um dia em que a leitura barométrica seja 750 mmHg, o manômetro de um compressor de ar indique que a pressão no reservatório (fechado) é de 828 kPa. Nessa situação, considerando a densidade relativa $P_{\text{Hg}} = 13,6$ e assumindo a aceleração da gravidade 10 m/s^2 , a pressão absoluta do tanque será inferior a 900 kPa.

19. (CEBRASPE/PF-2014) A respeito do escoamento em dutos de seção circular, julgue o item seguinte.

Considere que um navio de 200 m de comprimento, projetado para se deslocar à velocidade de cruzeiro de 10 m/s, deve ser testado em um tanque d'água, rebocando-se um modelo de 4,5 m de comprimento. Nessa situação, para que as condições de deslocamento do navio na água sejam perfeitamente simuladas, o modelo deve ser rebocado à velocidade de 1,5 m/s.

20. (CEBRASPE/ANP-2013) Acerca de escoamento incompressível não-viscoso e de análise dimensional, julgue o item seguinte.

O raio hidráulico é a relação entre a área transversal do escoamento do fluido e a seção de área.



21. (CEBRASPE/EMBASA-2010) As máquinas hidráulicas são um grupo particular de turbomáquinas nas quais a transferência de energia se passa entre um fluido em movimento e um ou mais conjuntos de pás rotativas. A energia, sob a forma de trabalho, é extraída ou transferida para o fluido pela ação dinâmica das pás. A partir dessa definição geral, julgue o próximo item.

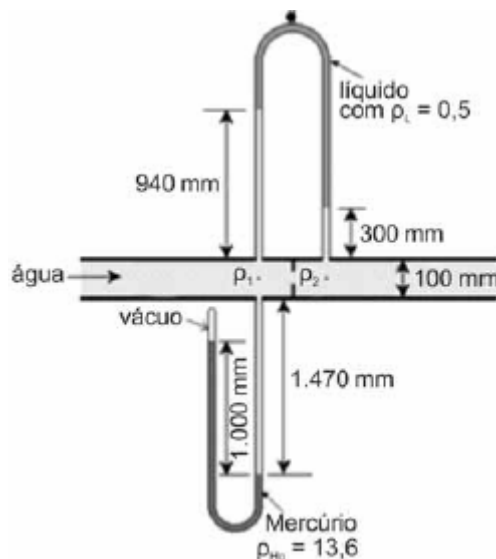
No estudo de máquinas hidráulicas, entre as relações adimensionais consideradas para fins de projeto e análise técnica, a relação $E = \pi N^2 D^2$, em que π é denominado coeficiente de energia de pressão, associa a energia específica de pressão E de um fluido (dimensionalmente dada por $[L]^2/[T]^2$) com a frequência de rotação N (dimensionalmente dada por $[T]^{-1}$) do rotor da máquina e com uma característica dimensional desta, chamada genericamente de D (dimensionalmente dada por $[L]$). Considerando exclusivamente o aspecto de análise dimensional dessa equação, desprezadas as perdas inerentes ao sistema, é correto reescrever a relação em questão como $gH = \pi N^2 D^2$, em que g é a aceleração da gravidade e H é a carga hidráulica de pressão relativa, dada em unidade de comprimento $[L]$, da superfície do reservatório até a entrada do rotor da máquina.

22. (CEBRASPE/TJ CE-2014) Considere que um tubo de 3,2 m de diâmetro, em que fluem 1.000 m³/s de água, se divida em outros dois tubos, cada um com 1,0 m e 2,0 m de diâmetro. Nessa hipótese, assumindo-se que 3,14 seja valor aproximado para π e que a velocidade da água no tubo de 1,0 m seja igual a 100,0 m/s, a velocidade da água no tubo de 2,0 m de diâmetro será

- a) inferior a 295 m/s.
- b) inferior a 200 m/s.
- c) superior a 380 m/s.
- d) superior a 400 m/s.
- e) inferior a 121 m/s.

23. (CEBRASPE-2013)





A figura acima mostra o esquema para medição da vazão em uma instalação de bombeamento d'água com placa de orifício. Um manômetro de tubo em U com mercúrio ($\rho_{Hg} = 13,6$) está conectado à parte inferior da tubulação. Outro manômetro de tubo em U invertido, com líquido de densidade relativa $\rho_L = 0,5$, está montado em um ponto diretamente acima do primeiro manômetro. Com base nessas informações e na figura acima, julgue o item seguinte.

A diferença de pressão $p_1 - p_2$ é maior que 1 m de coluna d'água.

24. (CEBRASPE-2013) Com relação à hidrodinâmica, julgue o item que se segue.

Em um escoamento estacionário e incompressível em que a distribuição de velocidades é dada por $V = 6xi - 6yj + 0k$, a tensão cisalhante τ_{xy} em qualquer ponto (x, y, z) é nula.

Outras Bancas

25. (CESGRANRIO/PETROBRAS/2018) Um gás escoa em regime permanente por uma tubulação de diâmetro D quando passa por uma redução cônica e passa a escoar por uma tubulação de diâmetro $D/2$. A densidade do gás na tubulação maior é de 2 kg/m^3 , enquanto sua velocidade é de 20 m/s . Por outro lado, a velocidade do gás após a redução passa a ser de 16 m/s .

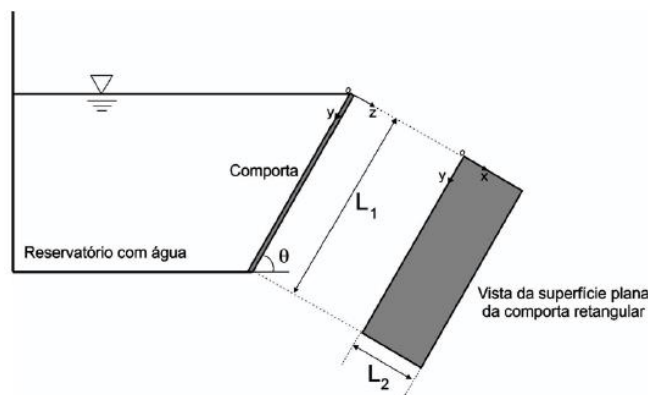
Para as condições de escoamento estabelecidas, estima-se que a densidade do gás, em kg/m^3 , na seção menor, vale

- a) 2
- b) 4
- c) 8
- d) 10



e) 16

26. (CESGRANRIO/TRANSPETRO/2018) A Figura abaixo ilustra uma comporta retangular de comprimento L_1 e largura L_2 (perpendicular ao plano do papel).



A expressão do módulo da força resultante, F_R , com que a água, com peso específico γ , atua sobre a comporta, e a coordenada y do ponto de aplicação dessa força, em relação à superfície livre do fluido, y_R , são, respectivamente:

- a) $F_R = \gamma \left[\frac{L_1}{2} \cdot \sen \theta \right] \cdot (L_1 L_2)$ e $y_R = \frac{2}{3} L_1$
- b) $F_R = \gamma \left[\frac{L_1}{2} \cdot \sen \theta \right] \cdot (L_1 L_2)$ e $y_R = \frac{1}{2} L_1$
- c) $F_R = \gamma \left[\frac{L_1}{2} \right] \cdot (L_1 L_2)$ e $y_R = \frac{2}{3} L_1 \cdot \sen \theta$
- d) $F_R = \gamma \left[\frac{L_1}{2} \right] \cdot (L_1 L_2)$ e $y_R = \frac{2}{3} L_1$
- e) $F_R = \gamma \left[\frac{L_1}{2} \cdot \sen \theta \right] \cdot (L_1 L_2)$ e $y_R = \frac{2}{3} L_1 \sen \theta$

27. (CESGRANRIO/PETROBRAS/2018) Os princípios da hidrostática ou estática dos fluidos envolvem o estudo dos fluidos em repouso e das forças sobre objetos submersos.

Nesse estudo, NÃO se constata que a(o)

- a) diferença de pressões entre dois pontos de uma massa líquida em equilíbrio estático é igual à diferença de profundidade multiplicada pelo peso específico do fluido.
- b) altura de um líquido incompressível em equilíbrio estático preenchendo diversos vasos que se comunicam independe da forma dos mesmos, obedecido o princípio dos vasos comunicantes.
- c) pressão manométrica é medida a partir da pressão absoluta e seu valor tanto pode ser negativo quanto positivo.
- d) altura metacêntrica é a medida de estabilidade da embarcação



e) empuxo será tanto maior quanto mais denso for o fluido.

28. (CESGRANRIO/PETROBRAS/2018) Um balão esférico de ar quente está sendo utilizado para elevar um equipamento de massa m para análise de poluentes na atmosfera de uma região próxima à uma refinaria de petróleo.

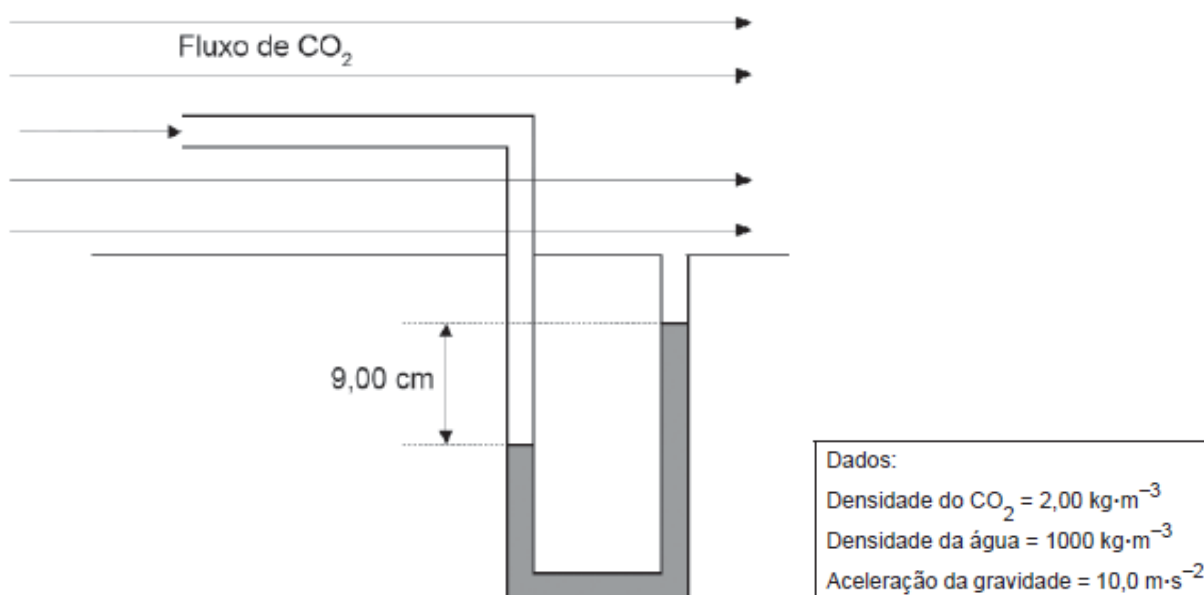
Dados:

- $m = 2 \text{ kg}$;
- massa específica do ar fora do balão $= 1,250 \text{ kg/m}^3$;
- massa específica do ar quente $= 1,050 \text{ kg/m}^3$;
- aceleração da gravidade local $= 10 \text{ m/s}^2$.

Assumindo o ar como um gás ideal, qual é o volume aproximado do balão, em m^3 , para que haja a decolagem?

- a) 10
- b) 12
- c) 15
- d) 20
- e) 24

29. (CESGRANRIO/PETROBRAS-2018) A Figura abaixo mostra o esquema de um instrumento utilizado para medir a velocidade do fluxo de CO_2 . Ele é composto por um tubo interno, com um pequeno orifício, posicionado na mesma direção do fluxo do gás. O tubo interno é conectado a uma das extremidades de um manômetro, e a outra extremidade fica perpendicular ao fluxo de gás.



Se o fluido utilizado no manômetro é água, a velocidade do fluxo de CO_2 vale, aproximadamente, em m.s^{-1} ,

- a) 10,0
- b) 20,0
- c) 30,0
- d) 60,0
- e) 90,0

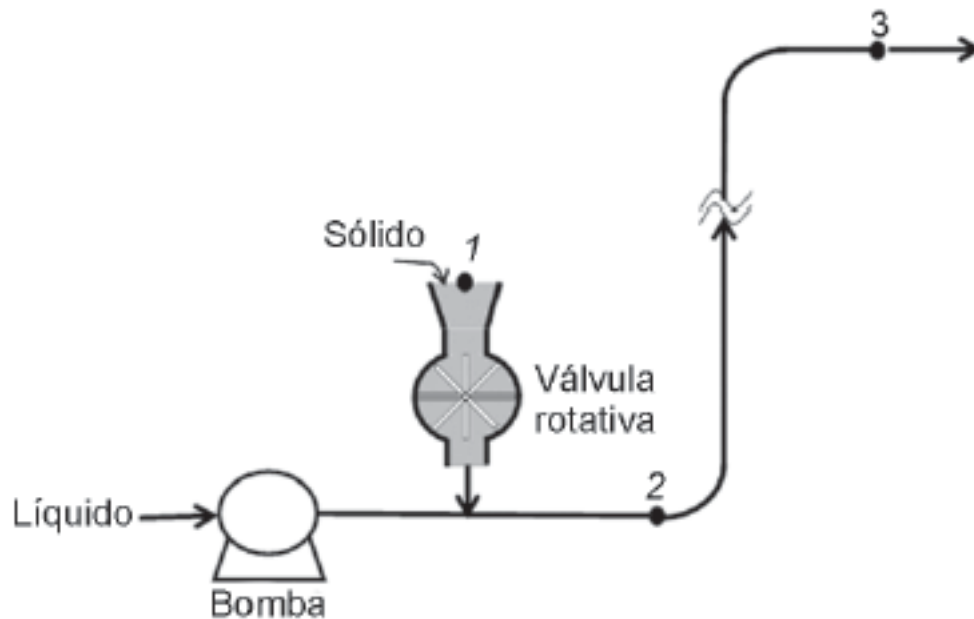
30. (CESGRANRIO/PETROBRAS-2018) Em um sistema de sopro, o ar escoa em regime permanente e com baixa velocidade através de um bocal com áreas de entrada e saída iguais a $0,2 \text{ m}^2$ e $0,04 \text{ m}^2$, respectivamente.

Assumindo que a velocidade do ar na saída do bocal seja igual a 25 m/s , qual deve ser a velocidade do ar, em m/s , na entrada do bocal?

- a) 1
- b) 5
- c) 10
- d) 15
- e) 20

31. (CESGRANRIO/PETROBRAS-2017) Um líquido é empregado para o transporte de sólidos conforme o sistema representado na Figura abaixo.





Os pontos 1 e 2 encontram-se praticamente na mesma altura, enquanto o ponto 3 está 5 metros acima, e não há variação do diâmetro do duto ou mudança de fase.

A análise do sistema permite concluir que a

- a) soma das energias cinética e potencial do sólido é a mesma nos pontos 1 e 2.
- b) soma das energias cinética e potencial do sólido no ponto 3 é maior que no ponto 2.
- c) soma das energias cinética e potencial do sólido no ponto 2 é maior ou igual à do ponto 3.
- d) energia cinética do sólido no ponto 2 é igual à energia potencial do sólido no ponto 3.
- e) energia cinética do sólido no ponto 3 é desprezível.

32. (CESGRANRIO/PETROBRAS-2017) O tipo de escoamento que tem como característica o fato de as partículas apresentarem um movimento aleatório macroscópico, isto é, a velocidade das partículas apresenta componentes transversais ao movimento geral do conjunto do fluido, é o escoamento

- a) compressível
- b) incompressível
- c) laminar
- d) turbulento
- e) viscoso



33. (CESGRANRIO/PETROBRAS-2014) Um mergulhador de 1,80 m de altura encontra-se trabalhando em alto mar, na posição horizontal, numa profundidade de 42 m.

Dados

$$g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$$

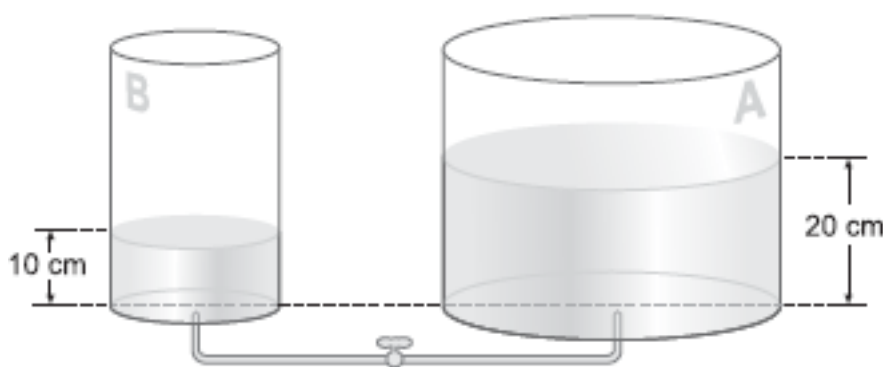
$$\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 1040 \text{ kg/m}^3$$

$$1 \text{ Pa} \approx 9,9 \cdot 10^{-6} \text{ atm}$$

Se a pressão atmosférica na superfície do mar é de 100 kPa, a pressão, em atm, exercida sobre o corpo do mergulhador é, aproximadamente, igual a

- a) 3,5
- b) 4,1
- c) 4,5
- d) 5,2
- e) 6,3

34. (CESGRANRIO/PETROBRAS-2014) Um sistema é composto por um vaso cilíndrico A, cuja área da seção reta é igual a 200 cm², comunicado a outro vaso cilíndrico B, cuja área da seção reta é 100 cm². Uma válvula, no tubo fino de comunicação que fica na base do sistema, separa os fluidos dos dois vasos. Os vasos contêm um mesmo líquido, porém, quando a válvula está fechada, a altura do líquido no vaso A é de 20 cm, enquanto no de vaso B é de 10 cm.



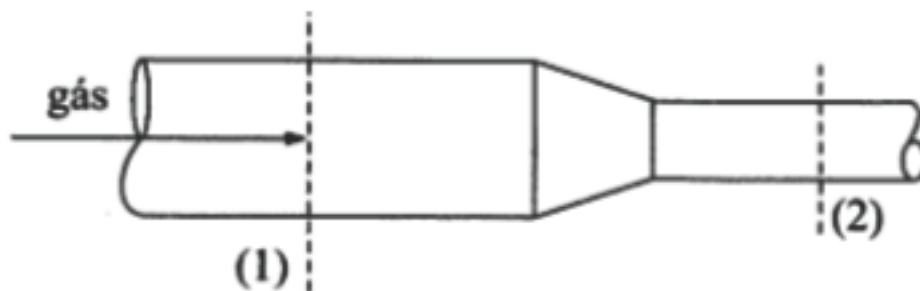
Após a abertura da válvula, os fluidos presentes nos dois vasos terão a mesma altura, em cm, aproximadamente igual a

- a) 12,3
- b) 14,8



- c) 15,6
- d) 16,7
- e) 18,2

35. (IBFC/PCie PR-2017))Conforme figura a seguir um gás escoa em regime permanente no trecho de tubulação. Na seção (1), tem-se área $A_1 = 40 \text{ cm}^2$, Massa específica $\rho_1 = 8 \text{ kg / m}^3$ e velocidade $v_1 = 60 \text{ m/s}$. Na seção (2), área $A_2 = 20 \text{ cm}^2$ e Massa específica $\rho_2 = 24 \text{ kg/m}^3$. Assinale a alternativa correta que indica a velocidade na seção (2):



- a) $V^2 = 10 \text{ m/s}$
- b) $V^2 = 20 \text{ m/s}$
- c) $V^2 = 30 \text{ m/s}$
- d) $V^2 = 40 \text{ m/s}$
- e) $V^2 = 50 \text{ m/s}$

36. (IESES/IGP SC-2017) Em relação à Mecânica dos Fluidos, assinale a alternativa correta:

- a) Para utilizar a equação de Bernoulli na sua forma original despreza-se os efeitos da compressibilidade do fluido e de mudanças da velocidade em cada posição no espaço (adota-se a hipótese de que o escoamento é incompressível e em regime permanente.)
- b) Os parâmetros adimensionais relevantes para o cálculo da perda de carga por atrito no escoamento incompressível ao longo de uma tubulação reta são o número de Reynolds, o número de Mach e a rugosidade relativa.
- c) Os escoamentos em que o número de Reynolds está acima de 2300 são geralmente considerados turbulentos.
- d) Considerando a massa específica da água igual a 1000 kg/m^3 e a aceleração da gravidade aproximadamente 10 m/s^2 , um corpo mergulhado 40 m abaixo da superfície da água parada estaria sujeito a uma pressão 4 MPa acima da pressão encontrada na superfície.



37. (INCAB/ PC AC-2015) Nas análises dos escoamentos compressíveis o Número de Mach M desempenha um papel importante. Um escoamento com Número de Mach menor que a unidade ($M < 1$) é classificado como:

- a) hipersônico.
- b) subsônico.
- c) supersônico.
- d) sônico.
- e) transônico.

38. (IBFC/PC RJ-2013) No interior de uma tubulação ocorre o escoamento em regime permanente de um líquido. Na seção transversal de diâmetro interno de 0,48m a velocidade de escoamento é de 0,7m/s. Calculando-se o diâmetro interno, em mm, na seção transversal cuja velocidade de escoamento é de 378m/min encontra-se o valor de:

- a) 160.
- b) 180.
- c) 210.
- d) 240.
- e) 250.

39. (IBFC/PCie PR-2017) Avalie as afirmações que seguem com base no tema “Mecânica dos fluidos”.

I. A expressão fluido não newtoniano é empregada para classificar todos os fluidos em que a tensão cisalhante não é diretamente proporcional à taxa de deformação.

II. Nos escoamentos internos incompressíveis, a natureza laminar ou turbulenta é determinada pelo número de Reynolds (Re), que relaciona o diâmetro da tubulação à velocidade média do escoamento e à viscosidade cinemática do fluido ($Re = VD/\nu$).

III. O esforço exercido em um fluido é independente do tempo em que a força é aplicada e a deformação desaparece quando a força é removida.

Está correto o que se afirma em:

- a) I e II, apenas
- b) I, apenas



- c) I e III, apenas
- d) I, II e III
- e) II e III, apenas

40. (FEPESE/DEINFRA-SC – 2019) Analise o texto abaixo:

No caso de um escoamento de um fluido em duto, sua natureza (laminar ou turbulenta) é determinada pelo valor do parâmetro chamado número de

Assinale a alternativa que completa corretamente as lacunas do texto.

- a) compressível • dimensional • Ranquine, $Ra = 2,300$
- b) incompressível • dimensional • Ranquine, $Ra = 2,300$
- c) incompressível • dimensional • Rancero, $Ra \geq 3,00$
- d) incompressível • adimensional • Reynolds, Re
- e) incompressível • dimensional • Ranquine, Ra

41. A relação entre a viscosidade absoluta, ou dinâmica, μ e a viscosidade cinemática ν , μ/ν é dada por:

- a) ρ a massa específica do fluido
- b) g , a aceleração da gravidade
- c) β , o módulo de Bulk do fluido
- d) c , o calor específico do fluido
- e) γ , o peso específico do fluido

42. (VUNESP/UFABC/2019) Existe uma ampla variedade de instrumentos para medição de pressão. Em sistemas de condicionamento de ar, exaustão, ventilação etc., os valores de pressão são geralmente reduzidos e a interpretação correta, assim como as conversões, das unidades de pressão são bastante importantes.

Dados: Peso específico da Água = 10000 N/m^3 e do Mercúrio = 136000 N/m^3 .

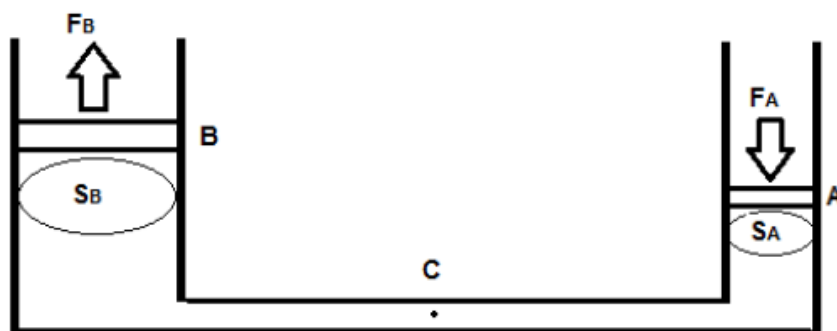
Se um desses instrumentos indicar uma pressão de 20,4 milímetros de coluna de água, é correto afirmar que tal valor equivale a, em mmHg e em Pa, respectivamente,

- a) 0,0015 e 204.



- b) 1,5 e 204000.
- c) 1,5 e 0,204.
- d) 0,0015 e 204000.
- e) 1,5 e 204.

43. (NC UFPR/ITAIPU/2019) Considere o desenho a seguir, apresentado na condição de equilíbrio de forças, sendo S_A e S_B as áreas respectivas do pistão A e do pistão B:



Com base no princípio de Pascal e no desenho acima, identifique como verdadeiras (V) ou falsas (F) as seguintes afirmativas:

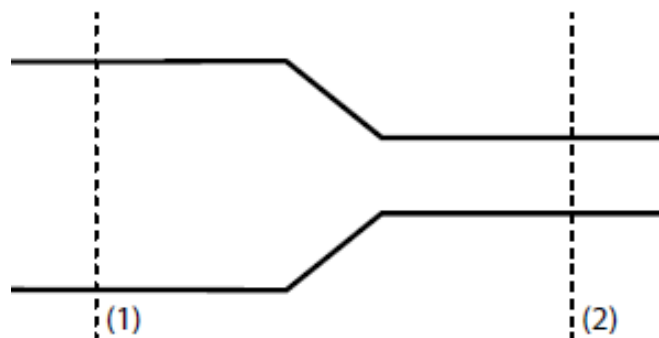
- () A força aplicada em A gera uma pressão $PA=FA/SA$
- () $PA=PB=PC$.
- () A força FB é menor que a força FA .
- () Se o pistão A deslocar-se x cm, o pistão B deslocar-se-á $x.(SA/SB)$ cm.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta, de cima para baixo.

- a) F – V – F – V.
- b) F – F – V – V.
- c) V – V – F – V.
- d) V – V – F – F.
- e) F – F – V – F.

44. (FEPESE/CELESC-2018) O ar escoia através do tubo convergente mostrado na figura abaixo.





A área da seção 1 é de 20 cm^2 e a área da seção 2 é de 10 cm^2 . A massa específica do ar na seção 1 é de $0,12 \text{ utm/m}^3$, enquanto que na seção 2 é de $0,10 \text{ utm/m}^3$.

Sabendo que a velocidade na seção 1 é de 8 m/s , determine a velocidade do ar na seção 2.

- a) $24,0 \text{ m/s}$
- b) $19,2 \text{ m/s}$
- c) $12,0 \text{ m/s}$
- d) $9,6 \text{ m/s}$
- e) $4,8 \text{ m/s}$

45. (CEV UECE/Pref. Sobral/2018) Um tanque de formato cúbico de aresta " L " está totalmente preenchido com um líquido de massa específica " ρ ". O tanque é aberto em sua face superior e exposto à pressão atmosférica. Adotando a variável " g " para a gravidade, o valor da força total resultante " F_R " atuando nas paredes laterais do tanque é definida pela equação:

- a) $F_R = \frac{\rho g L^2}{3}$
- b) $F_R = \frac{\rho L^3}{2g}$
- c) $F_R = \frac{\rho g L^3}{2}$
- d) $F_R = \frac{\rho L^2}{3g}$

46. (FGV/ALERO/2018) Uma tora de madeira de seção retangular de lados 50 cm e 40 cm e comprimento de 4 metros flutua na superfície d'água.

Sabendo-se que o peso específico da água é de 1 kg/dm^3 , a densidade da madeira é de $0,60 \text{ kg/dm}^3$, e que sobre a tora de madeira equilibra-se um corpo de massa 100 kg , o percentual de volume da tora de madeira que estará submerso é de



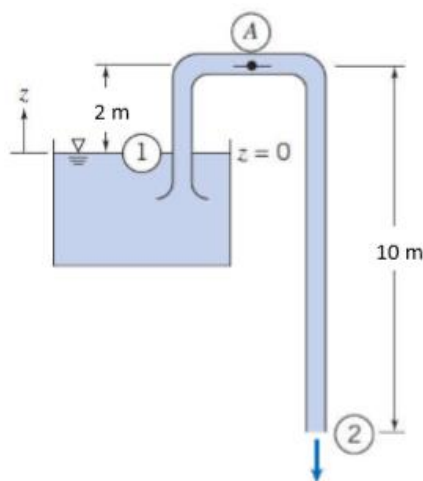
- a) 37,5%.
- b) 45,0%.
- c) 57,5%.
- d) 60,0 %.
- e) 72,5%.

47. (CONSULPLAN/TRF-2ª Região/2017) Em um determinado motor de propulsão temos na sua saída uma velocidade dos gases de $V_s = 2.500 \text{ km/h}$ e a área do bocal na saída $A_s = 36 \times 10^{-4} \text{ m}^2$. Considerando que a saída dos gases é igual à pressão atmosférica do ambiente, determine a força de propulsão F_p em N no bocal de escape. Assinale a alternativa correta com o valor de F_p (Força de Propulsão) em N.

(Considere: $\rho_{\text{gases}} = 0,45 \text{ kg/m}^3$).

- a) $F_p = 624,42 \text{ N}$.
- b) $F_p = 781,25 \text{ N}$.
- c) $F_p = 934,78 \text{ N}$.
- d) $F_p = 1144,83 \text{ N}$.

48. (CEV UECE/DETRAN-CE-2018) Atente à seguinte figura, onde se representa um tubo em "U" que atua como um sifão de água.



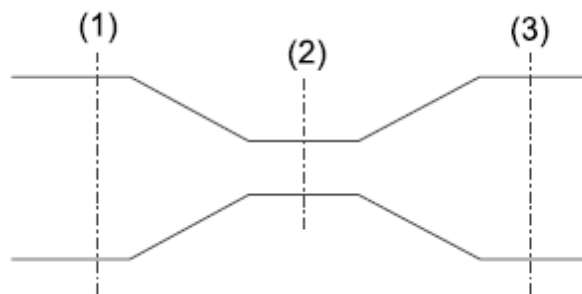
Fonte: Introduction to Fluid Mechanics / Fox and McDonald's - 8th Ed.

Observe que a curva do tubo fica a 2 m acima da superfície da água de um reservatório de grande capacidade, e a saída do tubo fica a 10 m abaixo da curva. A água sai na extremidade do sifão como um jato livre à pressão atmosférica. Considerando a água como um fluido incompressível, e um fluxo sem atrito e em regime permanente, pode-se afirmar corretamente que a velocidade do jato de água ao sair do tubo é



- a) 6,3 m/s.
- b) 10,0 m/s.
- c) 12,6 m/s.
- d) 14,1 m/s.

49. (VUNESP/UFABC-2019) Para projeto e otimização de instalações hidráulicas, é de fundamental importância o domínio de diversos conceitos relacionados à vazão, pressão, velocidade de escoamento, perdas de energia etc. A figura a seguir ilustra um dispositivo de grande utilidade, para diversas aplicações, que permite abordagem de todos esses conceitos. As áreas das seções circulares (1) e (3) são idênticas e maiores que da seção (2).



Analisando-se o escoamento de um líquido neste dispositivo, é correto afirmar que

- a) a maior velocidade e a menor pressão ocorrem na seção (2) e que se trata de um tubo de Pitot.
- b) a velocidade do escoamento é maior na seção (2) e a vazão é maior nas seções (1) e (3).
- c) se fosse considerado o escoamento ideal, sem perdas de carga ou energia, valeria a equação de Bernoulli e a pressão em (3) seria maior que em (1).
- d) numa situação hipotética de escoamento ideal, em relação ao real, ocorreria $p_3 > p_2$, mas $v_3 < v_2$, e $p_3 = p_1$.
- e) em situação de escoamento real, ocorreria $p_3 > p_2$, mas $v_3 < v_2$ e $p_3 = p_1$.



GABARITO

- | | |
|---------------|-------|
| 1. CORRETO | 26. A |
| 2. INCORRETO | 27. C |
| 3. INCORRETO | 28. A |
| 4. CORRETO | 29. C |
| 5. INCORRETO | 30. B |
| 6. INCORRETO | 31. B |
| 7. CORRETO | 32. D |
| 8. CORRETO | 33. D |
| 9. INCORRETO | 34. D |
| 10. A | 35. D |
| 11. INCORRETO | 36. A |
| 12. INCORRETO | 37. B |
| 13. CORRETO | 38. A |
| 14. CORRETO | 39. A |
| 15. INCORRETO | 40. D |
| 16. CORRETO | 41. A |
| 17. CORRETO | 42. E |
| 18. INCORRETO | 43. C |
| 19. CORRETO | 44. B |
| 20. INCORRETO | 45. C |
| 21. CORRETO | 46. E |
| 22. A | 47. B |
| 23. CORRETO | 48. C |
| 24. CORRETO | 49. D |
| 25. D | |



ESSA LEI TODO MUNDO CONHECE: PIRATARIA É CRIME.

Mas é sempre bom revisar o porquê e como você pode ser prejudicado com essa prática.



1 Professor investe seu tempo para elaborar os cursos e o site os coloca à venda.



2 Pirata divulga ilicitamente (grupos de rateio), utilizando-se do anonimato, nomes falsos ou laranjas (geralmente o pirata se anuncia como formador de "grupos solidários" de rateio que não visam lucro).



3 Pirata cria alunos fake praticando falsidade ideológica, comprando cursos do site em nome de pessoas aleatórias (usando nome, CPF, endereço e telefone de terceiros sem autorização).



4 Pirata compra, muitas vezes, clonando cartões de crédito (por vezes o sistema anti-fraude não consegue identificar o golpe a tempo).



5 Pirata fere os Termos de Uso, adultera as aulas e retira a identificação dos arquivos PDF (justamente porque a atividade é ilegal e ele não quer que seus fakes sejam identificados).



6 Pirata revende as aulas protegidas por direitos autorais, praticando concorrência desleal e em flagrante desrespeito à Lei de Direitos Autorais (Lei 9.610/98).



7 Concurseiro(a) desinformado participa de rateio, achando que nada disso está acontecendo e esperando se tornar servidor público para exigir o cumprimento das leis.



8 O professor que elaborou o curso não ganha nada, o site não recebe nada, e a pessoa que praticou todos os ilícitos anteriores (pirata) fica com o lucro.



Deixando de lado esse mar de sujeira, aproveitamos para agradecer a todos que adquirem os cursos honestamente e permitem que o site continue existindo.